



Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

Faculdade de Odontologia de Araraquara

Luciano Elias da Cruz Perez

Influência da adição de reforço e
ciclagem mecânica na resistência
ao impacto de resinas para base e
para reembasamento imediato.

**Araraquara
2009**



Luciano Elias da Cruz Perez

Influência da adição de reforço e ciclagem mecânica na resistência ao impacto de resinas para base e para reembasamento imediato.

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia de Araraquara, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, para a obtenção do título de Doutor em Reabilitação Oral (Área de concentração: Prótese).

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Ana Lucia Machado – UNESP
Co-Orientador: Prof. Dr. Sebastião V. Canevarolo Júnior-
UFSCar

Araraquara

2009

Perez, Luciano Elias da Cruz
Influência da adição de reforço e ciclagem mecânica sobre a
resistência ao impacto de resinas para base e para reembasamento imediato /
Luciano Elias da Cruz Perez . – Araraquara: [s.n.], 2009.
196 f. ; 30 cm.

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Odontologia
Orientador : Profa. Dra. Ana Lúcia Machado
Co-orientador: Prof. Dr. Sebastião V. Canevarolo Júnior

1. Resinas acrílicas 2. Reembasadores de dentadura 3. Prótese
dentária I. Título

Luciano Elias da Cruz Perez

**INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE REFORÇO E CICLAGEM
MECÂNICA NA RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE RESINAS PARA
BASE E PARA REEMBASAMENTO IMEDIATO.**

Banca Examinadora

TESE PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR

Presidente e orientadora: Profa. Dra. Ana Lucia Machado

2º Examinador: Profa. Dra. Maria da Gloria Chiarello de Mattos

3º Examinador: Prof. Dr. Sicknan Soares Rocha

4º Examinador: Prof. Dr. Marco Antonio Compagnoni

5º Examinador: Profa. Dra. Ana Cláudia Pavarina

Araraquara, 20 de julho de 2009.

DADOS CURRICULARES

Luciano Elias Cruz Perez

Nascimento: 18/09/1979 – Santa Helena de Goiás – GO

Filiação: Wilson Elias Perez

Maria Irismar da Cruz Perez

1999 - 2002: Curso de Graduação - Faculdade de Odontologia de Araraquara - UNESP

2003 - 2005: Curso de Pós-Graduação em Reabilitação Oral (Área de Prótese), nível Mestrado, na Faculdade de Odontologia de Araraquara – UNESP.

2005 - 2009: Curso de Pós-Graduação em Reabilitação Oral (Área de Prótese), nível Doutorado, na Faculdade de Odontologia de Araraquara – UNESP.

Dedicatória

A Deus,

*por ter me dado forças durante
toda minha jornada.*

Dedicatória

Aos meus pais Wilson Elias Perez e

Maria Irismar da Cruz Perez, e aos

meus irmãos Danyel Elias da Cruz

Perez, Natalia da Cruz Perez e

Cecília da Cruz Perez,

Dedico este trabalho

*Agradeço a toda minha família pelo amor, amizade e
suporte. Sem vocês não conseguiria terminar essa fase da
minha vida.*

Amo muito vocês!

Agradecimento Especial

À Profª Drª Ana Lucia Machado

*pela oportunidade, pela minha formação
profissional, pela amizade e
exemplo de profissionalismo*

Muito Obrigado!

Agradecimento Especial

*Ao meu amor **Dayane**,
pela compreensão da distância,
pelo carinho, amor e amizade.*

TE AMO MUITO!

“Espero que o tempo passe, espero que a semana acabe, para que eu possa te ver de novo”. (Nando Reis)

Agradecimentos Especiais

*Ao Prof. Dr. **Sebastião Vicente Canevarolo Junior**,*

por toda assistência, atenção, paciência,

compreensão e amizade.

Meus sinceros agradecimentos!

*Aos Profs. Drs. **Eunice Teresinha Giampaolo, Carlos Eduardo Vergani, Ana Cláudia Pavarina,***

pelos ensinamentos e amizade.

Muito Obrigado!

*Ao Prof. Dr. **Sicknan Soares Rocha,**
pela oportunidade e, principalmente pelos
ensinamentos, confiança e a grande amizade.*

Agradecimentos

Aos Professores do Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese, pela minha formação acadêmica e amizade.

Aos meus colegas de Pós-Graduação, principalmente, Andréia, Anelise, Roberta, Daniela, Ana Carolina, Ana Paula e aos amigos-irmãos José Maurício, João Gustavo, Matheus, Mariana, Marcelo, Ewerton, Michael, Camila e Carolina. Agradeço por toda carinho e amizade. Sem vocês não teria conseguido chegar até aqui. Obrigado!

*Aos alunos de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos, em especial a **Nelson M. Larocca**, pela atenção, paciência e amizade.*

Agradecimentos

Aos meus grandes amigos Murilo, Hugo, Érica, Pedro, Pablo, Mariana, Allan, Thais, Renato, Karine, Heverson, Mariana, Rodrigo, Érika, Hermes, Gisele, Márcio e Frank. Obrigado por toda amizade e atenção.

Aos demais amigos da Faculdade de Odontologia de Araraquara.

Às funcionárias da seção de Pós-Graduação da Faculdade de Odontologia de Araraquara, muito abrigado pela atenção e disponibilidade.

Aos funcionários da Biblioteca da Faculdade de Odontologia de Araraquara, pela amizade e atenção. Muito Obrigado!

Aos funcionários do Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese, pela amizade, paciência e convivência.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo auxílio financeiro concedido para a realização deste trabalho (Processo n°05/04101-0 e n° 06/00773-6).

Ao Prof. Romeu Magnani, pela contribuição na realização da análise estatística deste trabalho

À Faculdade de Odontologia de Araraquara da Universidade Estadual "Júlio de Mesquita Filho", por minha formação profissional e por todas oportunidades concedidas por esta magnífica casa de ensino.

E a todos aqueles que de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho.

Sumário

Resumo-----	14
Abstract-----	17
1 Introdução -----	20
2 Revisão da Literatura -----	26
3 Proposição -----	84
4 Material e Método -----	86
5 Resultado -----	114
6 Discussão-----	124
7 Conclusão -----	139
8 Referências -----	141
9 Apêndice -----	155

Resumo

Perez LEC. Influência da adição de reforço e ciclagem mecânica sobre a resistência ao impacto de resinas para base e para reembasamento imediato. [Tese de Doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2009.

Resumo

Este estudo avaliou o efeito da adição de reforço e ciclagem mecânica sobre a resistência ao impacto, por meio dos testes Charpy (C) e queda livre de dardo (QL), para resinas de base e para reembasamento imediato. Para o teste C, corpos-de-prova (60x6x2 mm) foram confeccionados com as resinas Lucitone 550 (L) e Vipi Wave (V) e reembasados (2 mm) com o mesmo material (L/L ou V/V) ou com as resinas para reembasamento imediato Tokuyama Rebase II (T) e Ufi Gel Hard (U). Corpos-de-prova puros de L, V, T e U (60x6x4 mm) também foram confeccionados para se determinar a resistência ao impacto dessas resinas. Para a avaliação da adição de reforço, foi adicionado ao pó das resinas reembasadoras 5%, em massa, do reforço de floco de vidro “glass flake” (UR, TR, L/UR, L/TR, V/UR, V/TR). 320 corpos-de-prova foram confeccionados, sendo 20 para cada condição experimental. Metade desses foi submetida à ciclagem mecânica (10.000 ciclos) com frequência de 5 Hz (LC, VC, TC, UC, URC, TRC, L/URC, L/TRC, V/URC, V/TRC). Um entalhe, em forma de V foi realizado na largura, na superfície correspondente ao material reembasador, com profundidade de 0,8 mm, permanecendo 3,2 mm de material intacto. O teste foi realizado com pêndulo de 0,5 J e distância de 50 mm entre os suportes. Os resultados (kJ/ m²) foram analisados utilizando-se ANOVA e teste de Dunnet C ($\alpha = .05$). Não houve diferenças estatisticamente significantes entre as médias de resistência ao impacto das condições L, L/L, V, V/V, LC, L/LC, VC e V/VC. As condições experimentais relativas às resinas autopolimerizáveis U, T, UC, TC, UR, TR e TRC foram estatisticamente iguais entre si. Além disso, URC também foi estatisticamente igual a U, T, UC, TC, TR e TRC, porém, maior do que UR. Não houve diferença significativa ($P > .05$) entre as médias de resistência ao impacto obtidas nos corpos-de-prova de L/U, V/U, L/UC, V/UC, L/URC e V/URC. Essas

condições apresentaram valores de resistência ao impacto significativamente menores que aqueles da resina L e T testadas puras ($P < .05$). Não houve diferença estatisticamente significativa entre L/T, L/TC e L/TRC. L/TR também foi igual a L/TC e L/TRC, porém maior do que L/T. As condições experimentais V/T, V/TC, V/TR e V/TRC foram estatisticamente iguais entre si. Para o teste QL, corpos-de-prova com forma e dimensões similares às de uma prótese total superior foram confeccionadas com espessura de 2 mm com as resinas L e V e reembasadas (2mm) com o mesmo material ou com as resinas T ou U. Para este teste, também foi adicionado ao pó dos reembasadores 5%, em massa, reforço de floco de vidro. 480 próteses foram confeccionadas, sendo 40 para cada condição experimental. Metade desses foi submetida à ciclagem mecânica (10.000; 5 Hz). No teste QL a prótese foi posicionada na máquina de ensaios e um dardo de peso conhecido foi liberado a partir de altura pré-estabelecida. Os resultados (g) foram analisados utilizando-se ANOVA e teste de Tukey ($\alpha = .05$). Não houve diferenças estatisticamente significativas entre as médias de resistência ao impacto das condições L, L/L, V, V/V, LC, L/LC, VC e V/VC. As condições experimentais L/U, V/U, L/UC, V/UC, L/UR, V/UR, L/URC e V/URC não apresentaram diferenças estatisticamente significantes entre si. As condições L/T e L/TC foram estatisticamente iguais entre si e maiores do que L/TR e L/TRC, que, por sua vez, não apresentaram diferenças estatísticas entre si. As condições experimentais V/T, V/TC, V/TR e V/TRC foram iguais entre si. Para analisar a relação entre C e QL, um teste de regressão foi realizado. A partir desse teste, observou-se uma alta correlação entre os dois testes analisados ($r = 0,9395$). As seguintes conclusões foram obtidas: 1) a resistência ao impacto das resinas L e V permaneceu inalterada após o reembasamento com o mesmo material, independentemente do teste realizado; 2) a resistência C dos materiais autopolimerizáveis testados puros foi estatisticamente menor do que as resinas de base L e V; 3) houve alta correlação entre os testes C e QL, sugerindo que a confecção de corpos-de-prova simples é suficiente para avaliar a resistência ao impacto desses materiais.

Palavras-chave: resinas acrílicas; reembasadores de dentadura; prótese dentária.

Abstract

Perez LEC. the effect of the addition reinforcement and cyclic loading on the resistance to impact of denture base resins and reline materials. [Tese de Doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2009.

Abstract

This study evaluated the effect of the addition reinforcement and cyclic loading on the resistance to impact of Charpy tests (C) and free falling-dart (FD) for the denture base resins and reline materials. To test the C, bars (60x6x2 mm) were prepared with the resins Lucitone 550 (L) and Vipi Wave (V) and relined (2 mm) with the same material (L / L or V / V) or with relining resins Tokuyama Rebase II (T) and UFI Gel Hard (U). Specimens pure of L, V, T and U (60x6x4 mm) were also made to determine the impact resistance of these resins. For the evaluation of the addition of reinforcement, was added to the powder of the relining resins 5% by weight of the glass flake "glass flake" (UR, TR, L / UR, L / TR, V / UR, V / TR). 320 specimens were made, 20 for each experimental condition. Half of these were subjected to cyclic loading (10,000 cycles) with a frequency of 5 Hz (LC, VC, TC, UC, URC, TRC, L / URC, L / TRC, V / URC, V / TRC). A notch in the form of V was carried out in width, the area corresponding to the relining material with depth of 0.8 mm, 3.2 mm of material remained intact. The test was conducted with pendulum of 0.5 J and 50 mm distance between the supports. The results (kJ/ m²) were analyzed using the ANOVA and Dunnet C test ($\alpha = .05$). No significant differences were noted among the mean impact values of L, L / L, V, V / V, LC, L / LC, VC and V / VC. The experimental conditions for relining resins U, T, UC, TC, UR, TR and TRC were statistically equal between themselves. In addition, URC was statistically equal to U, T, UC, TC, TR and TRC, however, higher than UR. No significant differences were noted ($P > .05$) among the mean impact values of L/ U, V/ U, L/ UC, V/ UC, L/URC and V/ URC. These conditions had values of resistance to impact significantly lower than those of the resin tested pure L and T ($P < .05$). There was no statistically significant difference between L/T, L/ TC and L/ TRC. L/ TR was equal to L / L and L/TC

and L/ TRC, but greater than L/ T. The experimental conditions V/ T, V/ TC, V/TR and V/TRC were statistically equal between themselves. To test QL, prostheses were made with a thickness of 2 mm with the resins L and V and relined (2mm) with the same material or with relining resins T and U. For this test, was also added to the relining powder 5% by weight, of reinforcing glass flake. 480 prostheses were made, and 40 for each experimental condition. Half of these were subjected to cyclic loading (10,000, 5 Hz). In the QL test the prosthesis was placed in the testing machine and a dart of known weight was released from pre-established time. The results (g) were analyzed using the ANOVA and Tukey's HSD test ($\alpha = .05$). No statistically significant differences were noted among the means of resistance to the impact of the L, L / L, V, V / V, LC, L / LC, VC and V / VC. The experimental conditions L / U, V / U, L / UC, V / UC, L / UR, V /UR, L / URC and V / URC showed no statistically significant differences between them. The conditions L / T and L / TC were statistically equal between them and larger than L / TR and L / TRC, which, in turn, showed no statistical differences among them. The experimental conditions V / T, V / TC, V / TR and V / TRC were equal among themselves. To examine the relationship between QL and C, a regression test was performed. From this test, there was a high correlation between the two tests examined ($r = 0.9395$). It was concluded that: 1) the impact resistance of resins L and V remained unchanged after relined with the same material, regardless of the test; 2) the resistance C of relining materials pure tested was statistically lower than that of the resins on L and V; 3) there was high correlation between tests QL and C, suggesting that the preparation of all-of-proof is simple enough to assess the impact resistance of these materials.

Keywords: acrylic resins; denture liners; dental prosthesis.

Introdução

1 Introdução

Em função da reabsorção contínua do osso alveolar, a adaptação das próteses removíveis deve ser periodicamente avaliada, corrigindo-se possíveis desajustes entre a parte interna das bases e os tecidos de suporte. Essa correção, quando realizada no próprio consultório, utilizando-se resinas acrílicas autopolimerizáveis, elimina as fases laboratoriais de inclusão e prensagem necessárias ao reembasamento do tipo mediato, sendo, portanto, mais rápida e de fácil execução. Em função desses aspectos, esse procedimento tem sido freqüentemente utilizado para restabelecer a retenção, o suporte e a estabilidade das próteses removíveis³⁰ sobretudo nos tratamentos de pacientes idosos, cujo número tem aumentado significativamente.

Um aspecto importante a ser considerado é que, para a realização do reembasamento, parte da base da prótese é removida por meio de desgaste, com os objetivos de eliminar a camada superficial que manteve contato com os fluidos bucais e microrganismos⁵ e, ainda, expor uma superfície mais reativa da resina de base². Além disso, após o reembasamento, os materiais utilizados nesse procedimento irão constituir parte integrante da base e, dessa forma, suas propriedades podem influir no resultado final obtido. Idealmente, as bases das próteses, após o reembasamento, deveriam apresentar propriedades similares às das resinas utilizadas para sua confecção. Os materiais para reembasamento imediato, apesar de serem autopolimerizáveis, apresentam composição diferente das resinas quimicamente ativadas convencionais, usualmente à base de polimetilmetacrilato (pó) e metilmetacrilato (líquido), sobretudo com relação à composição do líquido⁵. Tem sido observado que essas diferenças na composição podem influir diretamente nas propriedades dos materiais reembasadores⁴ e, conseqüentemente, no sucesso do tratamento a longo prazo. Em função desses aspectos, diversos estudos têm sido realizados com o intuito de avaliar as propriedades desses materiais como resistência à flexão^{6, 15, 18, 20, 21, 59, 61}, dureza⁷, absorção de água e solubilidade^{4, 17}, e influência da utilização de agentes adesivos^{5, 17}, e tratamentos superficiais^{50, 83} na resistência de união entre esses

materiais e as resinas para base de prótese. Complementando essas informações outros estudos têm avaliado a influência de armazenamento em água, ciclagem mecânica, desinfecção e tratamentos térmicos sobre a resistência à flexão^{65, 74, 77, 97}, estabilidade dimensional⁵¹, resistência à abrasão por escovação⁵⁶, dureza e rugosidade⁷, porosidade⁶³, conteúdo de monômero residual⁸⁶ e citotoxicidade¹¹.

Além dessas propriedades, a resistência ao impacto também constitui aspecto importante por estar relacionada à formação e propagação de trincas através desses materiais. Tem sido observado que as resinas acrílicas termopolimerizáveis convencionais utilizadas na confecção das bases das próteses, na temperatura fisiológica bucal, que é inferior à sua temperatura de transição vítrea, são materiais duros e frágeis e que apresentam, portanto, baixa resistência ao impacto³⁶, o que resulta em fratura típica frágil, caracterizada pela falta de deformação das partes fraturadas^{13, 28, 36}. Essa natureza frágil das resinas acrílicas ocasiona, freqüentemente, fratura das bases, em consequência de queda accidental da prótese e impacto sobre uma superfície dura^{22, 36} ou durante a mastigação⁹¹. Além de resultar em custos adicionais, as fraturas das bases das próteses causam desconforto aos os pacientes⁹¹, devido à necessidade de permanecerem sem as próteses durante as fases necessárias para a realização dos reparos ou a confecção de novas próteses.

Para avaliar a resistência o impacto das resinas acrílicas, vários estudos têm utilizado o teste do tipo Charpy, no qual amostras com forma retangular, apoiadas em dois pontos, são submetidas a uma força aplicada por um pêndulo^{13, 19, 23, 26, 28, 33, 35, 36, 53, 55, 66, 87, 88, 100}. Mais recentemente, Kim e Watts⁴³ avaliaram a influência do reforço de fibra de vidro na resistência ao impacto de resinas para base de prótese, utilizando um teste alternativo, denominado queda livre de dardo, no qual um peso pré-determinado é liberado de uma altura padronizada sobre o material a ser avaliado. A principal vantagem desse teste em relação àqueles que utilizam uma máquina pendular é sua capacidade de reproduzir tensões multidirecionais sob impacto, medindo a tenacidade do material próxima àquela observada durante sua utilização^{12, 45}. Outra vantagem é a possibilidade de se testar corpos-de-prova complexos, como por exemplo, em

forma de base de prótese, simulando, de maneira mais próxima, as condições clínicas. Dessa forma, os resultados obtidos por meio desse teste podem ser mais relevantes clinicamente⁴⁵. É importante salientar que os estudos mencionados referem-se às resinas utilizadas para a confecção de bases de próteses. Entretanto, até o momento somente um estudo⁶⁶ foi realizado com bases reembasadas relativo à resistência ao impacto. Dessa forma, há a necessidade de se realizar outras pesquisas no intuito de avaliar novos materiais reembasadores.

Além da avaliação da resistência ao impacto de resinas para base de prótese e para reembasamento imediato, testadas isoladamente, é importante considerar que, após o reembasamento, esses materiais constituirão uma estrutura composta, apresentando, ainda, uma interface de união. Tem sido observado que, nessa situação, as propriedades dos materiais de base e reembasadores utilizados podem influir no resultado final obtido^{1, 15}. Com relação à interface de união entre a resina de base e os materiais reembasadores, sua influência na resistência ao impacto pode ser interpretada com base nos mecanismos de formação e de propagação de trincas, ressaltados nos estudos que têm avaliado o efeito da adição de fibras de reforço à matriz polimérica³⁶. Os resultados obtidos com o auto-reforço realizado com fibras de polimetil metacrilato sugerem que, em função da similaridade química entre a matriz e as fibras, provavelmente a união entre essas partes seja excessiva e, dessa forma, essas fibras não oferecem nenhuma resistência à propagação da trinca e, conseqüentemente, nenhuma melhoria na resistência ao impacto é obtida^{33, 36}. Na interface de união entre as resinas de base e os materiais reembasadores, o comportamento, provavelmente, deve ser semelhante. A união obtida entre as duas resinas poderá determinar se as trincas iniciadas no material reembasador irão se propagar através dessa interface atingindo a resina de base, podendo resultar na sua fratura, ou se as trincas serão defletidas ao longo da interface, aumentando a resistência final do conjunto resina de base/material reembasador ao impacto. Em função desses aspectos, um estudo foi realizado para se analisar, comparativamente, a resistência ao impacto de amostras reembasadas após diferentes tratamentos da superfície da resina de base⁶⁶. Os resultados evidenciaram que, dependendo do material reembasador

utilizado, o tratamento de superfície pode influir, significativamente, na resistência ao impacto. O estudo também demonstrou a importância da localização do entalhe nos corpos-de-prova para a interpretação dos resultados obtidos no teste de impacto.

Embora esse estudo inicial tenha contribuído com informações importantes, novas pesquisas ainda são necessárias para se avaliar outros aspectos considerados relevantes, entre os quais a utilização de métodos para aumentar a resistência ao impacto desses materiais. A literatura revela que, em relação às resinas indicadas para a confecção de bases de próteses, os métodos utilizados têm sido o desenvolvimento de resinas designadas de “alto impacto”⁵⁷ as quais apresentam em sua composição o butadieno estireno, e a adição de diversos tipos de fibras à matriz polimérica, como vidro^{19, 41, 45, 87, 88}, carbono, Kevlar⁸⁷, polietileno^{13, 28, 46, 87} e o próprio polimetil metacrilato^{33, 35, 36}.

Apesar de algumas fibras citadas proporcionarem melhoria na resistência ao impacto das resinas acrílicas, sua utilização aumenta, consideravelmente, o número de procedimentos laboratoriais e, conseqüentemente, o tempo para a confecção das bases das próteses⁴⁷. Além disso, durante a inclusão e a prensagem, são necessários cuidados adicionais para se obter a concentração, a distribuição e o posicionamento correto das fibras, fatores que podem influenciar significativamente os resultados obtidos^{35, 36}. Em função desses aspectos, a utilização de fibras não é realizada, rotineiramente, pelos técnicos de laboratório. Na tentativa de superar essas limitações, foi proposta, recentemente, a incorporação de flocos de vidro (“*glass flakes*”) ao pó da resina acrílica, previamente à sua manipulação com o líquido e polimerização, tendo sido observado aumento significativo na resistência à fratura (“*toughness*”) de uma resina termopolimerizável para base de prótese²⁴. Tendo em vista à facilidade de aplicação, esse método poderia ser utilizado durante a realização de reembasamento imediatos, com o objetivo de aumentar a resistência ao impacto das resinas reembasadoras. Entretanto, o efeito da incorporação de reforços na resistência desses materiais ainda não foi investigado.

Um outro aspecto importante a ser considerado, quando da avaliação das resinas para base e para reembasamento, é a incidência de forças sobre as próteses durante sua utilização, submetendo os materiais a tensões cíclicas. Tem sido observado que as bases de resinas acrílicas, durante a mastigação, apresentam uma flexão na linha média, em direção oposta aos tecidos de suporte, que pode atingir o valor de até 1,5 mm^{49, 73}. Dessa forma, o teste de flexão, por simular a condição clínica⁸⁹, tem sido utilizado para avaliar a resistência de resinas acrílicas, com a aplicação de força constante até a fratura^{1, 15, 65, 97}, assim como o efeito da incidência de forças cíclicas sobre esses materiais^{27, 38, 42, 74, 77, 79}. Os estudos que utilizaram a aplicação de forças cíclicas sobre materiais poliméricos observaram uma diminuição significativa na resistência à flexão^{27, 74, 76, 77}. Tem sido observado, ainda, que o efeito dessas forças cíclicas em resinas para bases de próteses varia dependendo do material avaliado^{38, 77} do método de polimerização empregado^{42, 79}, da composição^{77, 78}, e do nível de monômero residual²⁵. Esses resultados indicam que a atuação de forças cíclicas pode contribuir para a concentração de tensões, permitindo a formação e propagação de trincas, influenciando a velocidade da falha final e, conseqüentemente, alterar a propriedade de resistência ao impacto. Indicam, ainda, que as resinas para reembasamento imediato e para bases de próteses podem se comportar de maneira diversa quando submetidas à ciclagem mecânica.

Com base nas considerações apresentadas, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da incorporação de reforço e de ciclagem mecânica na resistência ao impacto de resinas para base e para reembasamento imediato, testadas isoladamente ou em associação, por meio dos testes Charpy e queda livre de dardo.

Revisão da Literatura

2 Revisão de Literatura

Hargreaves²⁷, em 1983, realizou um estudo para avaliar o stress cíclico no polímero a base de polimetil metacrilato para base de prótese. A máquina para o teste foi construída possibilitando a imersão dos corpos-de-prova. A frequência utilizada foi de 1,67 Hz. Corpos-de-prova de 65 X 10 X 1,55 mm foram confeccionados e armazenados por um mês para a saturação em água destilada, 4% de etanol, óleo vegetal, solução de 15% de cloreto de sódio, solução de Milton ou Steradent antes de serem transferidos imediatamente para a máquina Instron para o teste de flexão a temperatura ambiente. Cinco corpos-de-prova foram ciclados de cada vez em água a temperatura ambiente ou a 37° C, em ar e nas outras soluções listadas. Para todos os ciclos à temperatura ambiente o número de ciclos foi de 10², 10³, 10⁴, 10⁵, 10^{5,5} a 10⁶. Quando a ciclagem mecânica da resina foi realizada em água a 37° C, os ciclos foram de 10⁴ a 10⁶, e foi permitindo, o re-equilíbrio à temperatura ambiente antes dos testes de flexão para que fosse obtida a comparação direta com os outros resultados. Onde ocorreram mudanças nas propriedades, elas tenderam a ser gradual e foram raramente observadas antes de 10⁴ ciclos. Quando os corpos-de-prova foram ciclados em ar, ocorreu uma leve fragilização, que não afetou o FYS. Após a saturação em água e ciclagem em ar, o limite de proporcionalidade diminuiu. Houve apenas uma leve mudança na resistência à flexão. A ciclagem a 37° C apresentou uma aceleração no aumento da flexibilidade e redução do máximo stress tolerado. A adição de pequena quantidade de um segundo plastificante (etanol) à água não produz um grande aumento ou aceleração nas alterações das propriedades. Alta concentração de sal tende a reduzir os efeitos plastificantes que foram notados na resina em água. O armazenamento em óleo vegetal causou pequenas mudanças nas propriedades de flexão, exceto por um leve aumento na energia requerida, surpreendente por causa de pequena alteração associada à ductilidade ou stress máximo. O armazenamento em solução de Milton aumentou a ductilidade e a flexibilidade e diminuiu a tolerância ao stress. Para o armazenamento em Steradent, o aumento da ductilidade foi tão acentuado que sob alto stress os corpos-de-prova deslizaram na

máquina durante o ensaio e raramente fraturaram. Somente pequenas mudanças no FYS foram notadas. Após 10^4 ciclos mecânicos, mudanças graduais desenvolveram nos corpos-de-prova que foram saturados, mas não nos testados em ar.

Price, Earnshaw⁶⁹, em 1984, investigaram a resistência ao impacto do material Reigning Resin à base de polisulfona e de 5 resinas à base de metil metacrilato sendo 4 modificadas por borracha (Hircoe, Impact 76, Lucitone 199 e Luxon) e um homopolímero (Durodent). Foram confeccionados corpos-de-prova (8 X 8 X 55 mm) com entalhe em forma de V (profundidade de 2 mm, raio de 0,25 mm e ângulo de 45°) no ponto médio do comprimento. Os corpos-de-prova foram armazenados em água destilada a 37° C, até atingirem massa constante (n=10), ou após armazenagem nas mesmas condições por um período de 12 meses (n=10). Os testes de impacto realizados foram do tipo Charpy, designado para testar polímeros. A resistência ao impacto da resina Durodent foi de $1,25 \text{ kJ/m}^2$, enquanto os valores observados para as 4 resinas modificadas com borracha variaram de $1,46 \text{ kJ/m}^2$, para a resina Impact 76 a $2,48 \text{ kJ/m}^2$ para a resina Hircoe. O material Reigning Resin apresentou resistência ao impacto significativamente maior ($4,63 \text{ kJ/m}^2$). A armazenagem por 12 meses, em condições que simulam à da cavidade bucal, afetou os materiais de maneira diferente. Hircoe e Lucitone 199 não foram afetadas, enquanto Durodent, Impact 76 e Luxon demonstraram acentuada diminuição da resistência ao impacto. Essa redução pode ser resultado de lenta remoção de monômero residual. Considerando-se que o monômero residual atua como plastificante, sua liberação continuada tornou os corpos-de-prova submetidos ao envelhecimento (armazenagem em água a 37° C) mais friáveis. Tendo em vista que o material Reigning Resin, à base de polisulfona, não apresenta monômero residual, os autores sugerem que, provavelmente, a absorção de água continuou, em velocidade lenta, pelo período de 12 meses. E, o aumento na resistência ao impacto observado para esse material, pode ter sido resultado do efeito plastificante da água absorvida.

Em 1986, Price⁷⁰ avaliou o efeito sobre a resistência ao impacto de agentes de ligação cruzada com variação no comprimento e na flexibilidade das cadeias poliméricas. Os corpos-de-prova do grupo controle foram confeccionados utilizando-se o pó e o líquido (sem agente de ligação cruzada) do material Durodent, sem qualquer modificação. Para os corpos-de-prova experimentais, parte do líquido foi substituída pelos agentes de ligação avaliados em concentrações de até 50 ou 60%. Os corpos-de-prova apresentavam um entalhe padrão Charpy em forma de V e foram armazenados em água a 37° C até massa constante. Vinte corpos-de-prova foram confeccionados para cada concentração e tipo de agente de ligação cruzada, tendo sido dez testados em posição reversa nos suportes da máquina, de tal forma que o entalhe estivesse localizado em área de compressão máxima e apresentasse mínimo efeito na fratura. Em geral, a resistência ao impacto dos corpos-de-prova com entalhe diminuiu com o aumento da concentração de agente de ligação cruzada. Para os corpos-de-prova testados em modo reverso, a resistência ao impacto geralmente aumentou com baixas concentrações de agente de ligação cruzada. Com concentrações mais altas, a resistência ao impacto continuou a aumentar com os agentes tetraetileno glicol dimetacrilato (TEGDMA), polietileno glicol 600 dimetacrilato (PEG 600 DMA), 1,10 decametileno glicol dimetacrilato (1,10-DMGDMA) e etoxilado bisfenol A dimetacrilato (EBADMA), diminuiu com os agentes etileno glicol dimetacrilato (EGDMA), divinil benzeno (DVB) e trimetilolpropano trimetacrilato (TMPTMA - monômero trifuncional) e permaneceu constante com o agente 1,6-hexametileno glicol dimetacrilato (1,6-HMGDMA). Os resultados para o DVB e EGDMA confirmaram que agentes de ligação cruzada com cadeias curtas ou relativamente curtas diminuem a resistência ao impacto. EBADMA, 1,6-HMGDMA e 1,10-DMGDMA, com suas cadeias longas, mas relativamente inflexíveis, tiveram pouco efeito na resistência ao impacto em baixas concentrações, mas gradualmente diminuíram essa propriedade em concentrações mais altas. Comparação dos resultados observados com o PEG 600 DMA com aqueles obtidos com EGDMA e TEGDMA demonstrou que, aumentando-se o comprimento e a flexibilidade da cadeia do agente de ligação cruzada, resultou em

aumento na resistência ao impacto com a cadeia mais longa. Comparação entre esses resultados com aqueles dos agentes 1,6-HMGDMA e 1,10-DMGDMA demonstrou que, aumentando-se o comprimento da cadeia tem menor efeito na resistência ao impacto, que o aumento na flexibilidade da cadeia. A formação da estrutura tridimensional com o TMPTMA resultou em diminuição acentuada da resistência ao impacto com o aumento na concentração, confirmando que polímeros com estrutura tridimensional são extremamente friáveis. Os resultados também demonstraram que, com todos os agentes, aumentando-se sua concentração aumentou a sensibilidade do material ao entalhe. Esse efeito foi mais acentuado com o DVB e menos acentuado com TEGDMA.

Oku⁶⁴, em 1989, examinou a propriedade de impacto de polímeros com ligações cruzadas. Seis agentes de ligação cruzada diacrilatos, que contêm duas ligações polimerizáveis, foram adicionados ao monômero metil metacrilato (MMA): etileno glicol dimetacrilato (EDMA), di-etileno glicol dimetacrilato (Di-EDMA), tri-etileno glicol dimetacrilato (Tri-EDMA), tetra-etileno glicol dimetacrilato (Tetra - EDMA), *p*-divinil benzeno (DBV) e bisfenol -A dimetacrilato (BPDMA). As concentrações de diacrilatos adicionados ao monômero foram de 2, 5 e 10%. Após a polimerização, os corpos-de-prova (3,1 X 3,1 X 40 mm) foram divididos em 2 grupos: (1) armazenados em dessecador (23°C) por 1 semana; (2) armazenados em água (37°C) por 3 semanas. Entalhes em forma de V foram realizados imediatamente antes dos testes que foram realizados ao ar a 23°C com uma velocidade de 13,5 cm/s e distância entre os suportes de 30 mm. A resistência ao impacto (J/m^2) do grupo (1) diminuiu ligeiramente com o aumento na concentração de diacrilatos e aumentou com o aumento no número de repetições (*n*) em $(-CH_2-CH_2-O-)_n$ nos grupos EDMA. Esses resultados indicam que aumento na reação de cadeias cruzadas diminuiu a fluidez do polímero, resultando em redução da resistência ao impacto. Os máximos valores de resistência ao impacto foram verificados nos corpos-de-prova contendo diacrilato na concentração de 2 mol%. Corpos-de-prova com essa concentração foram, então, obtidos e avaliados com relação à absorção de água.

Foi observado que a absorção aumentou com o aumento no número de repetições (n) no grupo $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}-)_n$ no monômero etileno glicol dimetacrilato. Os testes de resistência ao impacto dos corpos-de-prova armazenados a seco e em água não apresentaram diferenças entre os valores obtidos.

Em 1992, Ladizesky, Chow⁴³ estudaram: (a) o nível de adesão na interface entre as fibras de reforço e a matriz polimérica dos compósitos atuais, (b) o efeito da imersão em água a 37°C nas propriedades mecânicas de resinas reforçadas, e (c) sensibilidade dessas propriedades a entalhes que simulam características anatômicas. Os corpos-de-prova sem entalhe foram confeccionados com dimensões de 210 X 11 X 2,5 mm. Os reforços foram incorporados em forma de feixe de fibras de polietileno orientadas longitudinalmente com 290 mm de comprimento e 3,5g de massa. Os testes do grupo controle foram realizados com corpos-de-prova (210 X 12 X 2,5mm) da resina Trevalon C sem reforço. Também foram avaliados corpos-de-prova com entalhes, os quais apresentavam as dimensões de 130 X 10 X 2,5 mm. O teste de resistência ao impacto foi o tipo Charpy, realizado à temperatura ambiente ($23 \pm 2^\circ\text{C}$). Foi também avaliado o efeito da armazenagem em água a 37°C por 3 meses. Os corpos-de-prova não armazenados permaneceram em condição ambiente, após a polimerização, por períodos entre 2 e 8 semanas antes dos testes. Os resultados demonstraram que os entalhes diminuiram a resistência ao impacto das resinas não reforçadas (de 10 kJ/m^2 para 3,2 kJ/m^2), enquanto que as propriedades dos corpos-de-prova reforçados permaneceram inalteradas. O tratamento das fibras com plasma (maior adesão) diminuiu a absorção de energia durante os testes de impacto. O efeito da imersão em água no teste Charpy foi variável, mas relativamente pequeno quando comparado com o aumento acentuado produzido pela incorporação de fibras de polietileno nas resinas. A imersão em água apresentou efeito pouco significativo nas propriedades mecânicas e na resistência da interface resina/fibra, nas resinas reforçadas com fibras de polietileno. Além disso, as fibras eliminaram a alta sensibilidade à presença de entalhe, observada na resina não reforçada.

Ainda em 1992, Caycik, Jagger¹⁴ avaliaram o efeito dos agentes de ligação cruzada etileno glicol dimetacrilato - EGDMA, tetraetileno glicol dimetacrilato - TEGDMA, e polietileno glicol dimetacrilato - PEG 600 DMA, que apresentam diferentes comprimentos e flexibilidade de cadeias poliméricas, sobre as propriedades de resistência ao impacto, à flexão e à tração de uma resina à base de metil metacrilato. Foram utilizados o pó do homopolímero D80 e o líquido de metil metacrilato estabilizado com hidroquinona. Os agentes de ligação cruzada foram adicionados à resina em concentrações variando de 0 a 60% por volume de monômero. Os corpos-de-prova sem entalhe com 6,0 X 4,0 X 50 mm foram armazenados em água a 37° C por 28 dias antes dos testes e testados em ar a 22° C com um pêndulo de 0,5 J. O valor médio de resistência ao impacto obtido foi de 8,34 kJ/m² para os corpos-de-prova com 0% de agente de ligação cruzada. Houve aumento significativo com a adição de 10% do EGDMA (12,10 kJ/m²), tendo sido observada diminuição dos valores com o aumento da concentração desse agente (20% - 8,50 kJ/m²; 40% - 4,34 kJ/m²; 60% - 3,40 kJ/m²). Aumento significativo foi observado com o aumento da concentração dos agentes TEGDMA e PEG 600 DMA até 40% (TEGDMA - 15,79 kJ/m²; PEG 600 DMA - 23,53 kJ/m²). Entretanto, pequena diminuição foi verificada com a concentração de 60% (TEGDMA - 13,57 kJ/m²; PEG 600 DMA - 19,09 kJ/m²). Os autores relacionaram esses resultados com o efeito plastificante de altas quantidades de grupos metacrilatos pendentos dos agentes de ligação cruzada na resina polimerizada. Os resultados também demonstraram que houve aumento significativo na resistência ao impacto com a utilização de agentes de ligação cruzada TEGDMA e PEG 600 DMA, que apresentam cadeias mais longas e mais flexíveis que as do EGDMA. Os autores concluíram que o aumento no número de unidades (CH₂-CH₂-O) promoveu flexibilidade nos materiais, a qual resultou em maior resistência ao impacto.

Ladizesky et al.⁴⁴, em 1993, estudaram propriedades mecânicas de resinas acrílicas reforçadas com fibras de polietileno, incluindo o efeito da armazenagem em água. Foram confeccionadas barras com e sem reforço de fibras isoladas ou

entrelaçadas (1 ou 3 camadas). As fibras foram utilizadas sem tratamento de superfície ou com tratamento a plasma. Corpos-de-prova sem entalhe foram confeccionados com a resina acrílica termopolimerizável Trevalon C. O teste utilizado para a resistência ao impacto foi o Charpy, com pêndulo de 0,5 J, com exceção dos corpos-de-prova reforçados com 3 camadas de fibras entrelaçadas, para os quais o pêndulo empregado foi de 4,0 J. Esses testes foram realizados à temperatura ambiente ($23 \pm 2^\circ\text{C}$). Os corpos-de-prova foram condicionados em água a 37°C por 3 meses ou armazenados sob condição ambiente por 2 a 5 semanas. A imersão em água a 37°C por 3 meses não afetou a resistência ao impacto. Os corpos-de-prova fraturaram-se em 2 partes separadas, unindo-se somente através de poucas fibras, sem suporte. Assim, houve tanto a delaminação como a fratura do reforço, resultando em alta absorção de energia (16 kJ/m^2 para 1 camada e 44 kJ/m^2 para 3 camadas) quando comparada com os corpos-de-prova sem reforço (10 kJ/m^2). O reforço da resina utilizando-se 2,4 % de fibra, em volume, diminuiu a resistência ao impacto. Esse resultado pode ser devido ao efeito negativo das fibras durante a manipulação da resina, proporcionando aumento na formação porosidade.

Também em 1993, Ladizesky et al.⁴⁷ avaliaram as propriedades mecânicas de uma resina termopolimerizável (Trevalon C) com e sem reforço de fibras isoladas de polietileno, as quais foram tratadas com plasma, para maior adesão com a resina, ou foram utilizadas sem tratamento. Dois tipos de barras foram confeccionados: sem entalhe (210 X 12 X 0,25 mm) e com entalhe (130 X 12 X 0,25 mm). Corpos-de-prova sem reforço serviram como controle. O entalhe foi formado pela inclusão e prensagem da resina em um molde de metal com a forma do entalhe previamente obtido. A resina foi polimerizada em água utilizando-se o ciclo longo (6,5 horas a 72°C e 1,5 hora a 100°C). A incorporação das fibras foi realizada em etapas, permitindo que um conteúdo de 37% em volume pudesse ser adicionado à resina. O teste de absorção de energia no impacto utilizado foi o tipo Charpy, realizado à temperatura ambiente ($22 \pm 1^\circ\text{C}$). O efeito da água foi investigado pela imersão das barras sem entalhe a 37°C por 3 meses. Esses

corpos-de-prova permaneceram à temperatura ambiente por, aproximadamente, 20 horas antes dos testes. Corpos-de-prova não imersos permaneceram sob condição ambiente, entre a confecção e o teste, de 2 a 8 semanas. Para os corpos-de-prova com entalhe, a incorporação de 37% em volume de fibra aumentou a resistência ao impacto em, aproximadamente, 1000% (de 3,2 kJ/m² para 42 kJ/m²). Além disso, o entalhe reduziu a resistência ao impacto da resina não reforçada; entretanto, para os corpos-de-prova com 37% de fibra, a presença de entalhe não teve efeito significativo. O contato adequado entre a fibra e a resina é um requisito mais importante que a ausência total de porosidade dentro da resina.

Robinson, McCabe⁷⁵, em 1993, estudaram o desenvolvimento de um método para avaliar o efeito de pequenos defeitos de superfície na resistência ao impacto de materiais para base de prótese. Foram avaliadas vinte resinas acrílicas, divididas em 4 categorias: termopolimerizável (Bonar D60, Bonar D80, Metrocyl, Bonar PD 11, Bonar D80FC, Vertex, GC Acron, Paladon 65); de alto impacto (Bonar Hi, Trevalon Hi, Acron Hi, Lucitone 199, Hircoe); quimicamente ativada (Palapress); lâmina de polimetil metacrilato (Perspex). Dez corpos-de-prova (50 X 6 X 4 mm) de cada material foram utilizados para o teste de impacto tipo Charpy. Os defeitos de superfície foram introduzidos em alguns corpos-de-prova por meio de polimento manual utilizando tiras de papel abrasivo com granulação de 40 a 800. “Entalhes” foram introduzidos em outros corpos-de-prova utilizando-se cinzel. Os defeitos introduzidos por esses métodos variaram de 3 a 80 µm de profundidade. Os testes foram realizados com um pêndulo de 0,5 J e distância entre os suportes de 45 mm. Os resultados evidenciaram que mesmo defeitos de superfície muito pequenos (menores que 16 µm) reduzem significativamente a resistência ao impacto de alguns materiais. Para ilustrar esse aspecto, a influência de defeitos com 40 µm na sensibilidade ao entalhe de 4 materiais foi examinada. Com base nessa análise, foi possível detectar que a resina Lucitone 199 de alto impacto é altamente sensível a pequenos defeitos superficiais (sem entalhe – 19,35 kJ/m² e com defeito – 7,45 kJ/m²). A resina

fluida Palapress, que é autopolimerizável, apresentou sensibilidade ao entalhe significativamente menor (sem entalhe – 5,27 kJ/m² e com defeito – 4,22 kJ/m²).

Arena et al.², em 1993, compararam a resistência de união de 5 resinas autopolimerizáveis para reembasamento imediato a 2 materiais para base de prótese (Lucitone 199 e Triad VLC). Das resinas para reembasamento, 2 eram de polimerização dual (Extraoral VLC e Light Liner), 2 quimicamente ativadas (Flexacril Hard e Kooliner) e 1 fotopolimerizável (Triad VLC Hi-Flow). Corpos-de-prova (64 x 14 x 2,8mm) foram confeccionados e armazenados em água destilada por 50 horas. A seguir, uma secção de 10 mm foi removida da região central e preenchida com material reembasador. Os grupos controles foram constituídos por corpos-de-prova das resinas para base, mantidos intactos. A resistência de união foi avaliada por meio de teste de flexão em 3 pontos. As diferenças observadas entre a resina Triad VLC (com e sem agente de união) e as 2 resinas para base de prótese avaliadas, reforçam a importância da utilização do agente de união fornecido pelo fabricante para aumentar as cadeias polimoleculares livres a ligação cruzada e a união. Para a resina de base Lucitone 199, a resina Light Liner proporcionou o valor de resistência de união mais alto. Segundo os autores, a resina Light Liner é composta por poli etil metacrilato, o qual, aparentemente, apresenta alta afinidade com a resina à base de poli metil metacrilato. A resina de reembasamento Triad VLC apresentou a maior resistência de união com a resina de base Triad e é a única resina para reembasamento que apresenta composição química idêntica à resina de base original.

Marei et al.⁵², em 1994, realizaram um estudo para avaliar o efeito da adição de 5%, em volume, de estanho ou alumínio em polimetil metacrilato (PMMA) sobre a condutividade térmica, resistência ao impacto, resistência à compressão e deformação. Os materiais utilizados foram PMMA sem reforço, como controle (G1), PMMA com adição de 5% em volume de estanho (G2) e PMMA com adição de 5% em volume de alumínio (G3). O reforço de metal foi adicionado ao PMMA em gral e misturado até obter-se cor homogênea. Para cada

propriedade, foram confeccionados 15 corpos-de-prova que foram divididos entre os 3 grupos. As amostras para a condutividade térmica apresentavam dimensões de 2 mm de espessura por 2,5 cm de diâmetro. Para os testes de resistência Charpy foram confeccionados corpos-de-prova de 7,5 x 1,0 x 1,0 mm. Um entalhe de 2,0 mm de profundidade foi confeccionado com uma angulação de 60°. Uma energia de 10 kg e uma velocidade de 5,5 m/segundo foi utilizada para a fratura. As amostras para o teste de compressão foram confeccionadas em forma de cubos com 1 cm de aresta e carga constante foi aplicada até a fratura. Um modelo simulando arcada edêntula foi duplicado para se obter os modelos sobre os quais foram confeccionadas as próteses utilizadas no teste para avaliar a deformação. Nesse teste mensurou-se a distância entre a base de prótese e o modelo em 5 locais. A condutividade térmica da resina reforçada com alumínio foi significativamente maior que a da resina reforçada com estanho. A resistência ao impacto dos grupos 2 e 3 foi significativamente maior que a do grupo controle, o mesmo sendo observado para a resistência à compressão. Quanto à deformação, a resina acrílica sem reforço apresentou distâncias entre as bases das próteses e os modelos maiores que a resina reforçada com estanho que, por sua vez, apresentou desajuste maior que a resina reforçada com alumínio. A adição de reforço causou descoloração nas resinas acrílicas, sendo a maior alteração de cor causada pela adição de estanho.

Em 1994, Ladizesky et al.⁴⁴ investigaram o módulo de flexão, a resistência à flexão e a resistência ao impacto de resinas acrílicas reforçadas com até 10 camadas de fibras de polietileno entrelaçadas, representando uma quantidade acima de 40% em volume de fibra. Esse estudo também incluiu o efeito de entalhes, imersão em água e resistência da interface fibra/resina. Duas resinas acrílicas termopolimerizáveis foram utilizadas: Trevalon C e um tipo de resina composta por uma parte do pó da resina Rapid Repair e 4 partes do líquido do material Coe-Lor. Os corpos-de-prova em forma de barra foram polimerizados utilizando-se o ciclo longo (6,5 horas a 72°C e 1,5 hora a 100°C). O teste utilizado para a resistência ao impacto foi o Charpy realizado à temperatura ambiente (22±

1°C). O efeito da água foi investigado pela imersão das barras sem entalhe a 37°C por 3 meses. Corpos-de-prova não imersos foram armazenados sob condição ambiente entre a obtenção e o teste, de 2 a 8 semanas. O aumento na quantidade de fibras resultou em aumento significativo na resistência ao impacto (de até 7 vezes). Os entalhes apresentaram efeito negativo para os corpos-de-prova sem reforço e com baixa quantidade de fibras, mas a incorporação de pelo menos 20 % em volume de fibras produziu corpos-de-prova cujas propriedades não foram alteradas pela presença do entalhe. Com a incorporação de 4,5 % em volume de fibras entrelaçadas, apesar do material ainda apresentar-se sensível à presença de entalhes, houve aumento significativo na resistência ao impacto. Esse efeito positivo pode ser atribuído à característica semidúctil das fibras de polietileno, que libera a concentração de tensões produzidas pela alteração abrupta na forma do corpo-de-prova. Os resultados demonstraram, ainda, que as fibras tratadas com plasma reduziram a resistência ao impacto, e a imersão em água não teve efeito deletério sobre a absorção de energia no impacto.

Nesse mesmo ano, Vallittu et. al.⁹⁰ realizaram um estudo para determinar as características de superfícies fraturadas por fadiga da resina acrílica termoativada Pro Base. Foram confeccionadas 10 amostras em forma de prótese parcial superior que foram armazenadas em temperatura ambiente por 6 a 10 dias. O teste de fadiga foi realizado utilizando-se equipamento pneumático, com as amostras imersas em água a 37°C. A força aplicada sobre as próteses foi de 150N (± 8 N) e a carga cíclica foi repetida numa frequência de 4Hz. Uma área, simulando um torus palatino, foi utilizada para que não houvesse contato entre a parte interna das próteses e o modelo durante a ciclagem. A máquina registrou o número de ciclos necessários para causar a fratura por fadiga e a força aplicada foi monitorada. Por causa da falta de exatidão das dimensões das próteses, a secção da linha média de cada uma foi mensurada. Uma câmera de vídeo conectada a programa analisador de fotos foi utilizada para mensurar, em milímetros, o comprimento e a espessura da secção das amostras na linha média. Três amostras de cada prótese foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura (SEM).

A força necessária para fraturar as próteses não foi mensurada. Seis amostras (três da região do palato e três na região da área de extensão da base) foram avaliadas quanto à quantidade de monômero residual presente, após os testes de fadiga. Não houve correlação significativa entre (1) o número de ciclos necessários para a fratura e a área da secção da linha média, (2) o comprimento das próteses e o número de ciclos e, a espessura das próteses. As fotomicrografias demonstraram que a fratura do lado de compressão após um ciclo foi similar à fratura após vários ciclos. A média de concentração de monômero residual nas próteses fraturadas foi de 0,98% por massa na área do palato e de 0,88% na área de extensão da base da prótese. O coeficiente de correlação entre a concentração do monômero residual e o número de ciclos necessários para causar fadiga foi de 0,476 (p 0.162). O número de ciclos necessários para a fadiga apresentou grande variação. A correlação entre a área da linha média, mensurada por microscopia, e o número de ciclos também não foi observada. Esse fato pode estar relacionado com as diferenças nas dimensões das próteses e, provavelmente, o número limitado de amostras avaliadas. Outros fatores, como a conversão de metil metacrilato, agentes de ligação cruzada ou plastificantes podem também ter sido responsáveis pela fadiga das próteses. A forma das amostras e qualquer irregularidade superficial, macro ou microscópica pode atuar concentrando tensões e predispondo a base da prótese à fratura. A frequência (4Hz) do teste de fadiga pode não ter permitido o relaxamento adequado das próteses entre os ciclos e, por essa razão, alguma tensão pode ter permanecido nas amostras. É possível que as próteses não tenham alcançado o nível de força de 0 N entre os ciclos. A fotomicrografia revelou que a textura da superfície do lado de tração foi mais lisa do que do lado de compressão.

Vallittu et al.⁹⁶, em 1995, determinaram a resistência ao impacto da resina termopolimerizável à base de polimetilmetacrilato Pro Base Hot não reforçada, reforçada com fio de metal ou com fibra de vidro. A resina foi polimerizada em água em ebulição por 40 minutos para a confecção dos corpos-de-prova, que foram, posteriormente submetidos ao acabamento até as dimensões de 50 X 6 X

4mm com lixa de papel de granulação 180. Os corpos-de-prova foram confeccionados sem reforço, ou reforçados com fio de aço, com 1 mm de diâmetro, ou fibras contínuas de vidro. Para cada grupo, foram confeccionados 10 corpos-de-prova sem entalhe e 10 com entalhe (semicircular de 1,3mm de diâmetro) para simular o efeito dos alívios das próteses, nas regiões de freios, sobre a resistência ao impacto. Os corpos-de-prova foram armazenados em água a 22° C por uma semana antes dos testes de impacto Charpy que foram realizados com um pêndulo de 0,5 J para os corpos-de-prova não reforçados e 4,0 J para os reforçados. As médias de resistência ao impacto nos grupos reforçados variou de 44,3 a 64,5 kJ/m² e foram significativamente maiores que os dos grupos não reforçados (8,3 kJ/m² sem entalhe e 3,3 kJ/m² com entalhe). Os resultados evidenciaram que, quando o entalhe semicircular estava presente, a resistência ao impacto diminuiu. A redução foi evidente em todos os grupos exceto para os corpos-de-prova reforçados com fio de aço.

Harrison et al.²⁹, em 1995, estudaram o efeito do tamanho das partículas no: (1) tempo de manipulação da resina acrílica durante a formação da massa polimérica; (2) as propriedades mecânicas da resina polimerizada, que apresenta duas fases distintas. Uma série de 4 homopolímeros de metilmetacrilato foi produzida e fornecida na forma de pó/líquido. Dessa série, 6 lotes, variando a média de tamanho de partícula de 33 µm a 81,5 µm foram obtidos. O líquido utilizado foi o monômero puro de metil metacrilato estabilizado com hidroquinona. Agentes de ligação cruzada não foram adicionados ao monômero. Os corpos-de-prova (50 X 6 X 4 mm) foram polimerizados em banho de água por 7 h a 70°C seguidas por 3 h a 100°C. Previamente ao teste tipo Charpy, um entalhe em forma de V foi realizado com profundidade de 0,8mm, permanecendo, abaixo desse, 3,2 mm de material intacto. O valor mínimo de resistência ao impacto foi de 1,89 kJ/ m² e o máximo de 2,13 kJ/ m², com uma variação de 0,24 kJ/m². Em todos os testes, os corpos-de-prova apresentaram um comportamento típico de fratura frágil e a fratura sempre se iniciou no entalhe. Esse tipo de fratura

é caracterizado por falta de distorção das partes fraturadas. Não foram observadas diferenças significantes na resistência ao impacto dos corpos-de-prova obtidos a partir de polímeros com diferentes tamanho de partículas.

Arima et al.³, em 1995, compararam as propriedades de resistência à flexão, absorção de água e solubilidade de seis resinas para reembasamento (Rebaron – Rb; Tokuso – TN; Mild – Mi; Metabase – Mb; Koliner – KL; e New Tru Liner- NTL) e uma resina para base de prótese (Acron - Ac). Para o teste de resistência à flexão, os corpos-de-prova (64 X 10 X 2,5 mm) foram armazenados em água destilada a 37° C por 50 horas. As resinas para reembasamento apresentaram resistência à flexão significativamente menor que a resina termopolimerizável para base de prótese. As resinas que contêm agentes de ligação cruzada Mb, TN, e Mi apresentaram maiores valores médios de resistência à flexão que as resinas que não possuem esses agentes, com exceção da resina Rb. Comparado com Ac, Rb demonstrou resistência à flexão significativamente menor. Esse resultado pode ter sido obtido devido ao plastificante contido no pó e ao plastificante di-n-butil sebacato contido no líquido (10,3%). Mb, TN e Mi são materiais que apresentam altas porcentagens de agentes de ligação cruzada nos líquidos. Mb e TN, que contêm 1,6-hexanediol dimetacrilato como agente de ligação cruzada, em concentrações de 47,4 e 60,2%, respectivamente, demonstraram maior resistência à flexão quando comparadas à Rb. Entretanto, TN apresentou menor valor de módulo de elasticidade que Mb. O β - metacriloil oxietil propionato (39,8%) contido no líquido de TN é um monômero monofuncional com 2 ligações éster e forma cadeias poliméricas mais flexíveis comparado ao metilmetacrilato e ao 2-etil hexil metacrilato, que compõem o líquido de Mb. Os autores relataram que tem sido demonstrado que a adição de altas porcentagens de agentes de ligação cruzada diminui as propriedades mecânicas da resina polimerizada tais como resistência à flexão e ao impacto e, dessa forma, a concentração desses agentes, no líquido dos materiais, usualmente é limitado a 15%.

Polyzois et al.⁶⁸, em 1995, avaliaram a resistência transversal e ao impacto das resinas para base de prótese Trevalon, termopolimerizável convencional, e Acron MC, polimerizada por microondas, quando reparadas utilizando-se os mesmos materiais ou a resina autopolimerizável Croform. Para o teste de impacto, corpos-de-prova (50 X 6 X 4mm) sem entalhe foram confeccionados, seccionados ao meio, as superfícies de união foram polidas com lixa de granulação 600 e tratadas com o monômero aguardando-se 2 minutos. O espaço de 2 mm presente entre as duas partes foi, então, preenchido com os materiais para reparo. Após a união, os corpos-de-prova foram novamente armazenados em água a 37° C por 48 horas antes dos testes do tipo Charpy, que mede a energia absorvida pelo corpo-de-prova durante a fratura. Para o teste de resistência ao impacto foi utilizado um pêndulo de 0,5 J e os resultados foram expressos em kJ/m². Os corpos-de-prova das duas resinas termopolimerizáveis, convencional e polimerizada em microondas, reparadas com a resina autopolimerizável apresentaram os menores valores de resistência ao impacto (Trevalon/Croform – 0,52 kJ/m²; Acron/Croform – 0,68 kJ/m²). Os reparos realizados com a resina polimerizada por microondas apresentaram os maiores valores de resistência ao impacto (Trevalon/Acron MC – 3,42 kJ/m²; Acron MC/Acron MC – 4,34 kJ/m²). Valores intermediários foram obtidos quando os reparos foram realizados com a resina termopolimerizável convencional (Trevalon/Trevalon – 1,23 kJ/m²; Acron MC/Trevalon – 2,04 kJ/m²).

Arima et al.⁴, em 1996, estudaram a composição dos adesivos de resinas acrílicas autopolimerizáveis para reembasamento imediato e o efeito desses adesivos sobre a textura superficial da resina termopolimerizável para base de prótese Acron, por meio de microscopia eletrônica de varredura. Foram avaliados os adesivos Tokuso Rebase Aid (RA), Metabase Primer A (MP), Bosworth Bonding Liquid (BL), Pical (PI), e os monômeros das resinas autopolimerizáveis Rebaron e Kooliner, que não possuem adesivo próprio. Corpos-de-prova (20 x 10 x 2 mm) foram confeccionados com a resina Acron, armazenados em água destilada a 37°C durante 2 semanas sendo, então, polidos com lixa de granulação

600, lavados com água destilada e secos com ar. Os adesivos foram aplicados com pincéis sobre a superfície do corpo-de-prova, seguindo-se as recomendações dos fabricantes, ou os corpos-de-prova foram imersos nesses adesivos durante 5, 10 ou 30 segundos. Um corpo-de-prova foi mantido sem tratamento e utilizado como controle. Os adesivos das resinas Tokuso Rebase (RA) e Metabase Primer A (MP) apresentaram solventes como o diclorometano e acetona. Após 5 segundos de aplicação, o adesivo RA desenvolveu uma camada de estrutura esponjosa na superfície da resina. O metacrilato foi encontrado no adesivo da resina New Truliner (BL), assim como no líquido das resinas Rebaron e Kooliner. A aplicação do adesivo BL produziu um leve amolecimento na superfície do corpo-de-prova, entretanto nenhuma alteração na superfície da resina de base foi observada para os corpos-de-prova imersos nesse adesivo. A aplicação do monômero Rebaron produziu uma superfície porosa no corpo-de-prova. O monômero do Kooliner não resultou em nenhuma alteração quando comparado ao grupo controle. O adesivo PI foi classificado no grupo contendo monômero metacrilato e polímero. Segundo os autores, os adesivos que possuem solventes podem dissolver a superfície da resina de base e promover a interpenetração da resina de reembasamento; essa reação pode resultar na formação de uma camada mista de resina de base e de reembasamento. Os adesivos que contêm monômeros metacrilato em sua composição possuem baixa capacidade para dissolver a superfície da resina de base. Entretanto, o monômero difunde-se na resina de base e polimeriza-se simultaneamente com a resina de reembasamento. O monômero do material Rebaron resultou em poros na superfície da resina de base e, conseqüentemente, um tipo de retenção mecânica entre a estrutura dos dois materiais pode ser estabelecido por meio dessa camada. Esses poros podem aumentar a área de adesão.

Carlos, Harrison¹³, em 1997, estudaram o efeito da utilização de pérolas de UHMWPE (polietileno de ultra alto peso molecular) não tratadas superficialmente, sobre várias propriedades de uma resina acrílica para base de prótese. As pérolas de UHMWPE (Lupolen 201) foram incorporadas ao pó de

resina termopolimerizável Colacryl DC80FC em porcentagens de 0% (pó não modificado), 2,5%, 5%, 7,5% e 10%. O pó foi misturado ao líquido de metil metacrilato Colacryl TS1503 e polimerizado por 7h a 70°C e por mais 3h a 100°C para a confecção dos corpos-de-prova (50 X 6 X 4mm). Previamente aos testes de impacto, que foram realizados em ar a $23 \pm 2^\circ\text{C}$, um entalhe de 0,8mm de profundidade foi realizado em cada corpo-de-prova, permanecendo, abaixo desse, 3,2mm de material intacto. Em todos os testes, os corpos-de-prova quebraram exibindo um comportamento típico de fratura frágil, demonstrado pela falta de distorção das partes fraturadas. Diminuição progressiva da resistência ao impacto foi observada com o aumento da porcentagem de Lupolen. Foram observadas diferenças significativas de $0,3 \text{ kJ/ m}^2$ e $0,29 \text{ kJ/ m}^2$ entre o grupo controle e os grupos contendo 10% e 7,5% de reforço, respectivamente. A diferença entre os grupos reforçados com 5% e 10% ($0,21 \text{ kJ/ m}^2$) também foi significativa. Embora seja comprovada a compatibilidade entre resinas para base de prótese e o UHMWPE, a baixa resistência ao impacto dos materiais reforçados pode ser atribuída à falta de adesão (química ou física) entre a resina e a superfície não tratada das pérolas de Lupolen, as quais atuam mais como locais de concentração de tensões do que reduzindo a propagação da trinca.

No mesmo ano, Harrison et al.²⁸ avaliaram o efeito da adição de pérolas experimentais de UHMWPE (polietileno com alto peso molecular) sobre propriedades de uma resina acrílica para base de prótese. Para avaliar a influência da união entre a resina e o reforço, as pérolas foram submetidas a tratamento específico que modifica quimicamente a superfície das partículas para proporcionar locais reativos para a união química, melhorando seu umedecimento e aumentando a compatibilidade com outros polímeros. As pérolas de UHMWPE (Primax) foram incorporadas ao pó de polimetil metacrilato (Colacryl D80FC) em diferentes porcentagens (0; 2,5; 5; 7,5; e 10%). O líquido utilizado foi metil metacrilato (Colacryl TS1503). Os corpos-de-prova (50 X 6 X 4mm) foram polimerizados em banho de água por 7h à 70°C e mais 3h à 100°C. Um entalhe de 0,8mm de profundidade em forma de V foi realizado permanecendo, abaixo desse,

3,2mm de material intacto. Os testes de resistência ao impacto foram realizados em ar a $23 \pm 2^\circ\text{C}$. Todos os corpos-de-prova apresentaram comportamento típico de fratura frágil e a fratura sempre se iniciou no entalhe. A análise de variância não evidenciou diferença significativa entre o material para base de prótese sem reforço ($2,00 \text{ kJ/m}^2$) e os grupos que continham diferentes quantidades de Primax (de $1,78$ a $2,12 \text{ kJ/m}^2$). Os resultados variaram $0,25 \text{ kJ/m}^2$. A resistência ao impacto diminuiu, gradativamente, com o aumento da porcentagem de Primax. A incorporação de Primax em forma de pérolas em concentrações de 2,5% a 10% na resina acrílica, embora satisfaça os critérios da especificação para resinas acrílicas para ortodontia ($0,8 \text{ kJ/m}^2$), não ofereceu vantagem sobre o polímero não modificado e, portanto, não pode ser recomendado como agente de reforço.

As próteses podem ser submetidas a forças de impacto por meio de queda acidental ou durante mastigação. Materiais com adequada resistência ao impacto absorvem energia através da ação elástica do material. A resiliência, isto é, a capacidade elástica do material é, portanto, uma propriedade importante do material. As resinas para base de prótese à base de polimetil metacrilato, na temperatura fisiológica da cavidade bucal, que é inferior à sua temperatura de transição vítrea (110°C) é um material duro e frágil. Por essa razão, a resistência ao impacto dessas resinas é baixa. Assim, Vallittu, Narva⁹³, também em 1997, compararam a resistência ao impacto de uma resina à base de polimetil metacrilato (PMMA) autopolimerizável não reforçada (Palapress Vario), um compósito de PMMA - fibra de vidro (GF-PMMA) e um compósito híbrido com fibras de vidro e de “aramid” (GF/AF-PMMA). Os corpos-de-prova ($60 \times 6 \times 4 \text{ mm}$) foram polimerizados a $55 \pm 1^\circ\text{C}$ por 15 minutos a uma pressão de 300 kPa e armazenados em água a 37°C por 30 dias. Os testes Charpy foram realizados com pêndulos de 4,0 J e de 0,5 J, para os corpos-de-prova com e sem reforço, respectivamente. Os corpos-de-prova não foram entalhados visto que esse procedimento poderia cortar as fibras superficiais. O valor médio de resistência ao impacto obtido para a resina autopolimerizável foi de $7,8 \text{ kJ/m}^2$, o qual foi menor que aqueles observados em outro estudo com resinas termopolimerizáveis. Os

autores relatam que seria esperado que a resistência ao impacto das resinas autopolimerizáveis fosse maior que a das termopolimerizáveis, pelo fato da maior quantidade de monômero residual presente nas resinas autopolimerizáveis, que resultaria em ação plastificante no material. Esses resultados contraditórios poderiam estar relacionados com diferenças no tempo de armazenagem em água nos dois estudos. A armazenagem prolongada em água reduz o conteúdo de monômero residual e, dessa forma, diminui seu efeito plastificante. A incorporação de fibras de vidro (GF-PMMA) aumentou consideravelmente a resistência ao impacto da resina autopolimerizável.

Vallittu, Ruyter⁹⁴, em 1997, estudaram a difusão dos monômeros da resina termopolimerizável SR 3/60 e da resina autopolimerizável Palapress Vario em dentes artificiais de resina acrílica (Vitapan) e o fenômeno de aumento de volume do polímero resultante desse processo (“swelling”). A resina autopolimerizável foi polimerizada durante 15 minutos, sob pressão de 300 kPA, tendo sido avaliadas 3 diferentes temperaturas: 30°C, 50°C e 70°C. A resina termopolimerizável foi processada a 70°C por 60 minutos e, em seguida a 100°C por 30 minutos. Após a união, os corpos-de-prova foram desgastados até espessura de 0,21 mm para a análise por meio de microscópio óptico. Em seguida, foram tratados com solvente tetrahidrofurano por 5 segundos, secos em ar à 23°C por 60 minutos e a superfície foi analisada por microscopia eletrônica de varredura. Os autores verificaram que, para as temperaturas de polimerização de 30°C e 50 °C, o monômero da resina autopolimerizável apresentou pequena difusão na matriz polimérica do dente artificial, que possui alto grau de ligações cruzadas, enquanto que a 70°C a matriz tornou-se difusa. Para a resina termopolimerizável SR 3/60, a interface entre a resina e o dente artificial apresentou-se muito difusa impedindo que a espessura da camada de monômero difundido na estrutura polimérica do dente e o aumento de volume fossem mensurados. Segundo os autores, a maior extensão da difusão dos monômeros a partir da resina termopolimerizável para a estrutura do dente artificial não foi somente devida à temperatura de polimerização mais alta desse material de base. Uma outra explicação para esse resultado poderia ter sido o fato

de que a resina SR 3/60 permaneceu em contato com o dente artificial de resina acrílica por período de tempo mais longo que a resina autopolimerizável, antes que a polimerização ocorresse. Abaixo da temperatura de transição vítrea do polímero, existe uma relação linear entre tempo e difusão. Esse fenômeno permitiu que os monômeros da resina termopolimerizável se difundissem mais efetivamente dentro da estrutura polimérica do dente artificial.

Vallittu, Ruyter⁹⁵, em 1997, determinaram a espessura da camada superficial que apresenta expansão (“swelling”), como resultado da difusão do monômero metil metacrilato (MMA) para a parte interna da estrutura de polimetil metacrilato (PMMA). Foi comparada a expansão das resinas à base de PMMA, termopolimerizável SR 3/60 (SR) e autopolimerizável Palapress Vario (PPV). Os corpos-de-prova (5 x 5 x 2 mm) foram armazenados a 23° C ± 1° C e umidade relativa do ar de 50% ± 5% por 12 semanas. Uma das superfícies foi, então, polida com lixa de granulação 1000 e colocada dentro de 6 ml do monômero da resina PPV, que contém MMA e o agente de ligação cruzada etileno glicol dimetacrilato. Os corpos-de-prova foram mantidos em contato com o monômero por 0; 0,5; 3; 30 e 60 minutos a 23° ± 1° C. A resina PPV foi proporcionada e colocada sobre a superfície preparada, simulando o procedimento de reparo. Após a polimerização, a espessura da camada que expandiu foi mensurada em micrografias dos corpos-de-prova tendo sido observado valores entre 18,6 a 53,6 µm na resina autopolimerizável e entre 18,8 a 22,6 µm na resina termopolimerizável. Para a resina PPV, houve diferenças significativas entre os tempos de contato com o monômero, enquanto para a resina SR as médias obtidas foram estatisticamente iguais entre si. A expansão ocorreu em regiões sem pérolas de PMMA em ambas as resinas, ou seja, em locais da matriz polimérica. Durante a expansão ocorre a difusão do solvente (monômero da resina PPV) para a parte interna do polímero PMMA. As pérolas de PMMA pré-polimerizadas não apresentam agentes de ligação cruzada como a matriz polimérica e, portanto, a difusão do MMA para o interior das pérolas deveria ser maior que na matriz. Entretanto, a reação dos agentes de ligação cruzada, durante a polimerização, é incompleta e grupos

metacrilatos residuais permanecem na resina polimerizada. Esses grupos separam os segmentos das cadeias poliméricas, tornando a estrutura menos densa e rígida. Conseqüentemente, ocorre diminuição da temperatura de transição vítrea e a formação de estrutura mais aberta, tornando mais fácil a difusão das moléculas do MMA na matriz polimérica que nas pérolas do polímero. Outro fator apontado para a maior expansão observada na resina autopolimerizável, seria o maior conteúdo de monômero residual em relação à resina termopolimerizável, o qual teria facilitado a difusão do MMA para a parte interna do polímero.

Em 1998, Stipho⁸¹ estudou quantitativamente o efeito da adição de fibra de vidro sobre algumas propriedades mecânicas do PMMA, utilizando diferentes porcentagens de carga de fibra de vidro em relação à massa do polímero. Uma resina acrílica autopolimerizável foi utilizada para confeccionar 6 grupos. Um grupo foi utilizado como controle e os outros 5 foram confeccionados com adição de diferentes porcentagens de fibra de vidro (1%, 2%, 5%, 10% e 15%). As fibras foram cortadas em comprimentos de, aproximadamente, 2 mm. A proporção pó/líquido foi de 10g/ 8 ml para todos os corpos-de-prova. Essa proporção maior de líquido foi utilizada para garantir melhor impregnação das fibras de vidro. Nove corpos-de-prova para (2 mm X 6 mm X 50 mm) cada grupo foram confeccionados. Todos os corpos-de-prova foram testados para resistência transversal com velocidade de 12,7 mm/ minuto com distância entre os suportes de 50 mm. A resistência do grupo com adição de 1% de fibra de vidro foi a maior (90681 KPa), enquanto a média de resistência dos corpos-de-prova com adição de 15% foi a menor (65905 KPa). Tendência similar foi observada na deformação máxima. Assim, houve interação entre a porcentagem de adição de fibra de vidro e a média de resistência transversal e deformação máxima. O melhor conteúdo de fibra foi entre 1% e 2% da massa total de resina acrílica reforçada. Concentrações maiores tiveram efeito contrário e reduziram tanto a resistência à flexão como a deformação. O reforço de resina acrílica com baixas concentrações de fibras de vidro, com comprimento pequeno, misturadas aleatoriamente parece ser uma técnica simples e útil para reforçar as bases de prótese de resina acrílica.

Em 1999, Uzun et al.⁸⁷ compararam a resistência ao impacto, resistência transversal, deflexão e módulo de elasticidade da resina termopolimerizável para base de prótese Trevalon reforçada com fibras de vidro, carbono, Kevlar fino, Kevlar espesso e de polietileno em forma entrelaçada. Dez corpos-de-prova (60 X 7 X 4mm) foram confeccionados para cada tipo de fibra e 10 sem reforço, sendo armazenados em água a temperatura ambiente por 2 semanas. Os corpos-de-prova receberam um entalhe de 3,5mm, permanecendo, ainda, 3,5mm de material intacto e os testes de impacto tipo Charpy foram realizados aplicando-se a força no lado oposto ao entalhe. Corpos-de-prova reforçados com fibras de polietileno apresentaram a maior resistência ao impacto (18870,7 N/m), seguidos pelas fibras de vidro, Kevlar espesso, carbono e Kevlar fino. Os corpos-de-prova sem fibras exibiram os menores valores (1246,86 N/m). As cinco fibras avaliadas aumentaram significativamente a média de resistência ao impacto da resina Trevalon. As diferenças acentuadas nas resistências ao impacto e à flexão podem ter sido relacionadas à distribuição de tensões e ao modo de propagação de trinca nos dois testes.

Vallittu⁹⁰, também em 1999, determinou as propriedades de flexão de uma resina termopolimerizável (Pro Base Hot - PH), uma resina autopolimerizável (Palapress Vario - PV) e de um polímero para provisório em prótese fixa (Dentalon Plus - DP) e essas resinas quando reforçadas com fibras de vidro pré-impregnadas com polímeros altamente porosos Sick (S - fibras unidirecionais) e Stick Net (SN - fibras em forma de rede). Cinco corpos-de-prova (3,3 X 10 X 64 mm) das resinas PH e PV, com e sem reforço, foram confeccionados. Para a resina DP, o reforço SN não foi utilizado pelas pequenas dimensões dos corpos-de-prova (2 X 2 X 25 mm). As fibras do reforço S foram orientadas em no longo eixo dos corpos-de-prova, entretanto o reforço SN foi orientado em ângulos de 45 graus em relação a esse eixo. O teste em flexão de 3 pontos foi realizado em água a 37°C a uma velocidade de 5 mm/ min. Após os testes, a quantidade de fibras em cada corpo-de-prova, dos grupos com reforço, foi determinada pela combustão da

matriz polimérica por 45 minutos a $700^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$. Dois corpos-de-prova de cada grupo foram seccionados e a superfície exposta foi examinada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) para analisar o grau de impregnação das fibras na matriz polimérica. A resistência transversal da resina PH foi de 76 MPa e com o reforço S aumentou para 341 MPa. O módulo de flexão aumentou de 2550 para 19086 MPa. O reforço SN aumentou a resistência transversal do polímero PH para 99 MPa e o módulo de flexão para 3530 MPa. A resistência transversal da resina PV foi de 71 MPa e com reforço S aumentou para 466 MPa e o módulo de flexão aumentou de 2418 para 16749 MPa. O reforço SN aumentou a resistência transversal do polímero PV para 96 MPa e o módulo de flexão para 3573 MPa. A resistência transversal do polímero DP aumentou de 58 para 241 MPa e o módulo de flexão de 1711 para 7227 MPa. O exame SEM revelou as fibras de vidro S e SN bem impregnadas na matriz polimérica. A quantidade de fibras de vidro foi de 12,0% em massa para o grupo PH + SN; 39,1% em massa para o grupo PH + S; 13,0% em massa para o grupo PV + SN; 41,9% em massa para o grupo PV + S; e 44,8% em massa para o grupo PD + S.

Ainda em 1999, Vila et. al.⁹⁸ investigaram o efeito da adição de partículas de acrilonitril-butadieno-estireno (ABS), no comportamento da propagação da trinca de fadiga em cimento ósseo à base de polimetilmetacrilato. O cimento ósseo foi manipulado em condições de vácuo e ambiente, para determinar o efeito da porosidade na propagação das trincas. As partículas ABS foram misturadas ao líquido do cimento e, em seguida, o pó foi acrescentado para a confecção dos corpos-de-prova com 6 mm de espessura, 23 mm de largura e com entalhe de 11,35 mm. Os testes foram realizados sob carga controlada e frequência de 2 Hz. Os corpos-de-prova armazenados em solução salina (0,9% NaCl) também foram testados nessa solução a 37°C . O comprimento da trinca foi mensurado seguindo a ponta do entalhe por meio de um microscópio com resolução de 10 μm . A porosidade dos corpos-de-prova foi mensurada por técnica metalográfica. O volume de poros dos corpos-de-prova preparados no ar e no vácuo foi de 2,3 e 0,4%, respectivamente. A maioria dos poros apresentou tamanho variando entre

30 e 80 mm. O armazenamento em condições fisiológicas causou diminuição na velocidade de propagação da trinca (cerca de 2 vezes) para o cimento com e sem partículas de ABS. Quando o cimento sem ABS foi comparado ao cimento modificado, também foi observada diminuição na propagação de trinca (entre 1 e 2 vezes). A porosidade não apresentou efeito significativo sobre o comportamento da propagação de trinca. Para o cimento sem ABS, a superfície da fratura foi plana e as pérolas de PMMA foram seccionadas apresentando aspecto frágil. Por outro lado, a morfologia da propagação da trinca do cimento modificado, preparado e armazenado em ar, foi significativamente menos lisa. Embora algumas pérolas de PMMA seccionadas estivessem presentes, as trincas propagaram-se no interior da matriz, ao redor das pérolas. Maior ampliação da micrografia do cimento modificado demonstrou alguns filamentos, presumivelmente causados pelo rompimento dúctil da matriz, que foram mais pronunciados que os do cimento convencional. Ficou demonstrado que, no cimento modificado, as trincas seguiram caminho mais curvo, devido à tendência de se propagarem através da matriz polimérica, entre as pérolas de PMMA, ao invés de fraturarem essas pérolas, resultando no aspecto mais dúctil da superfície fraturada. O fato do caminho da trinca ser mais longo e, principalmente, ser confinado preferencialmente na matriz, onde os mecanismos de rompimento dúctil e “microcrazing” são relevantes, podem explicar a redução na velocidade da propagação das trincas de fadiga nos cimentos modificados por ABS.

Jagger et al.³², em 2000, investigaram o efeito do auto-reforço por meio da adição de polimetil metacrilato (PMMA) experimental em forma de pérolas (aproximadamente 600 µm) na resistência ao impacto, à flexão e na dureza de resina para base de prótese termopolimerizável convencional à base de PMMA (Colacryl D-80 FC). As pérolas de PMMA foram adicionadas no pó da resina acrílica em várias porcentagens (5, 10, 15, 25 e 40%). A resina não modificada foi utilizada como controle. Os corpos-de-prova (50 X 6 X 4mm), foram polimerizados por 7 horas à 70°C e 3 horas à 100°C. Um grupo foi armazenado em água à 37 ± 2°C por 7 dias e o outro por 6 meses. Para o teste de impacto, um

entalhe de 0,8 mm foi confeccionado em cada corpo-de-prova, permanecendo 3,2mm de material intacto. A resistência ao impacto dos corpos-de-prova armazenados por 7 dias aumentou para a concentração de 5% de pérolas e diminuiu quando a concentração utilizada foi de 40%. Para os corpos-de-prova armazenados por 6 meses, não houve diferença significativa na resistência ao impacto para nenhuma das concentrações avaliadas. Os valores observados para o grupo controle, sem reforço, foram de 1,62 kJ/m² e de 1,58 kJ/m² após 7 dias e 6 meses de armazenagem, respectivamente. Os autores relataram que, provavelmente, as pérolas de PMMA foram incorporadas dentro da matriz polimérica e não proporcionaram reforço. Dessa forma, o material apresentou propriedades similares às do polimetil metacrilato sem reforço, com as pérolas falhando em proporcionar resistência à propagação das trincas. Essas trincas não seriam defletidas pelas pérolas e a fratura poderia ocorrer através das mesmas.

Ainda em 2000, Kanie et. al.⁴⁰ investigaram o efeito da espessura do corpo-de-prova na resistência ao impacto e à flexão de um polímero para base de prótese reforçado com 3 fibras de vidro silanizadas ou não silanizadas. O efeito da posição e do número de fibras também foi estudado. Os corpos-de-prova foram confeccionados e submetidos ao teste de flexão em 3 pontos, com velocidade de 2 mm/ min e distância entre os suportes de 30 mm, e ao teste de impacto do tipo “flywheel” com velocidade de 543 mm/ min e distância entre os suportes de 30 mm. Quando os corpos-de-prova de 1 e 2 mm de espessura foram reforçados com fibras não silanizadas, os valores de resistência à flexão foram maiores que os do grupo controle. A mesma tendência não foi encontrada na deflexão e no módulo de flexão. Corpos-de-prova com espessura de 2 mm, reforçados com fibras não silanizadas, apresentaram valores maiores de resistência ao impacto que o grupo controle. A resistência flexural e a deflexão em corpos-de-prova com 1 mm de espessura e reforçados com fibras silanizadas foram significativamente maiores do que o grupo controle. A resistência ao impacto dos corpos-de-prova de 2 mm de espessura e reforçados com fibra de vidro silanizada foi significativamente maior que a do grupo controle. Diferenças estatisticamente significantes foram

encontradas na resistência ao impacto e flexural quando os corpos-de-prova de 4 mm de espessura foram reforçados com duas ou três camadas de fibras não silanizadas. A análise em microscopia eletrônica de varredura demonstrou que a matriz polimérica impregnou entre as fibras de vidro, nos corpos-de-prova reforçados com fibras silanizadas e não silanizadas, mas trincas foram parcialmente observadas entre as fibras. A resistência à flexão dos corpos-de-prova reforçados com fibras não silanizadas e silanizadas não apresentaram diferenças estatística. Esse resultado demonstrou que a união entre as fibras de vidro e a matriz polimérica depende da retenção mecânica por meio da contração de polimerização e rugosidade causada pelas fibras longitudinais e transversais presentes no reforço (em forma de malha), ou seja, na força de fricção entre a fibra de vidro e matriz polimérica.

No ano seguinte, Jagger, Harrison³⁶ avaliaram o efeito do auto-reforço com fibras contínuas de polimetilmetacrilato (PMMA) na resistência à flexão e ao impacto do material à base de polimetilmetacrilato (Trevalon). Para os testes de impacto um entalhe em forma de V foi confeccionado em cada corpo-de-prova (50 X 6 X 4 mm) com uma profundidade de 0,8 mm, permanecendo 3,2 de material intacto. O entalhe em forma de V concentra as tensões e elimina os efeitos de defeitos superficiais do corpo-de-prova. As fibras contínuas foram colocadas no interior dos corpos-de-prova em uma ou duas camadas longitudinais, localizadas paralelas ao comprimento, ou em duas camadas, sendo a inferior longitudinal e a superior posicionada em sentido transversal ao comprimento. Dez corpos-de-prova para cada grupo foram preparados e armazenados em água à temperatura de $37^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ até total saturação. Cada corpo-de-prova foi fraturado em ar a $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ com um pêndulo de capacidade de 2J. Para os testes de impacto, todos os corpos-de-prova fraturaram exibindo comportamento típico de fratura frágil, a qual sempre se iniciou no entalhe. O valor médio de resistência ao impacto observado para os corpos-de-prova sem reforço foi de $4,9 \text{ kJ/m}^2$. A união entre a fibra e a matriz pode apresentar um papel importante no sucesso do reforço. Quando uma trinca se propaga através da matriz e encontra uma fibra, se

a união entre a fibra e a matriz é adequada (nem excessiva ou mínima), a fibra não irá se fraturar e a trinca irá se defletir ao longo do comprimento da fibra. Por meio desse mecanismo, a fratura pode se defletir no limite da fibra várias vezes, produzindo uma rede de trincas e a formação de zonas de polímero possivelmente dispersas com espaços. Entretanto, se a união entre a fibra e a matriz é excessiva, então a trinca pode propagar-se através da fibra, como se fosse através de um material homogêneo, sem reforço. Os valores médios de resistência à flexão e ao impacto da resina acrílica de polimetilmetacrilato independentemente da localização ou do número de camadas.

Também em 2001, o efeito de variações na proporção pó/líquido sobre a resistência ao impacto de resinas acrílicas foi avaliado por Syme et al.⁸². As resinas autopolimerizáveis utilizadas foram Pink Repair Resin (PR) e Clear Repair Resin (CR) e a termopolimerizável foi a Trevalon Clear (HC). Corpos-de-prova com secção transversal de 1 cm/1cm foram preparados com diferentes proporções pó/líquido e submetidos ao teste de impacto Charpy. As resinas autopolimerizáveis apresentaram médias similares de resistência ao impacto (CR= 0,10 J e PR = 0,108 J) enquanto a resina termopolimerizável apresentou um valor baixo, inesperado (HC = 0,085 J). A baixa resistência ao impacto das resinas testadas pode ser devido ao baixo peso molecular (massa molar), como consequência da alta velocidade de polimerização. A menor resistência ao impacto da resina termopolimerizável pode ter sido devida ao mesmo fator. Em temperaturas mais elevadas de polimerização, a velocidade de início da reação será alta, havendo mais reações de terminação das cadeias e o peso molecular será menor, reduzindo a resistência ao impacto. Os autores também salientam que as próteses estão sujeitas a impactos frequentes durante a utilização. É provável que um impacto maior cause o início de trincas em pontos menos resistentes, as quais aumentam devido a impactos repetidos. Tem sido calculado que uma prótese total flexiona-se 0,5 milhão de vezes por ano. Se a tensão é suficientemente alta, esse número de flexões pode resultar no crescimento de trincas de fadiga, com impactos repetidos causando aumento adicional dessas trincas, até que um

impacto final resulte na fratura completa. Esse impacto final pode, então, ser de pequena magnitude.

Segundo Jagger et al.³³, embora a união entre fibra e matriz resinosa possa influenciar o sucesso do reforço, uma união eficiente nessa interface não é sempre necessária ou favorável. Para o auto-reforço (material de reforço com composição química similar à da matriz resinosa), é possível que a união entre as fibras e a matriz seja excessiva e, dessa forma, as fibras não proporcionam resistência à propagação das trincas ou aumento nas propriedades mecânicas. Neste estudo, os autores investigaram a adição de fibras de polimetilmetacrilato na forma contínua ou seccionada, tratadas superficialmente, sobre algumas propriedades da resina acrílica termopolimerizável convencional Trevalon. Para a forma seccionada, as porcentagens de fibras utilizadas foram de 0, 5, 15, 20 e 25% em peso. Para a forma contínua, foram testadas uma ou duas camadas no sentido do comprimento do corpo-de-prova e duas camadas posicionadas perpendicularmente entre si. As fibras foram tratadas superficialmente com emulsão de látex de butadieno estireno. Após a confecção dos corpos-de-prova (50 X 6 X 4mm), foram realizados entalhes em forma de V com profundidade de 0,8mm, permanecendo abaixo desse 3,2mm de material intacto. Dez corpos-de-prova foram confeccionados para cada concentração e armazenados em água a $37 \pm 2^\circ\text{C}$ até saturarem completamente. O teste de impacto foi realizado a seco e em temperatura de $20 \pm 1^\circ\text{C}$ com um pêndulo de 2J. A resistência ao impacto para a resina sem reforço foi de $4,9 \text{ kJ/m}^2$. A adição de fibras não proporcionou aumento significativo da resistência ao impacto.

Ainda em 2001, Memon et al.⁵⁵ compararam as propriedades de resistência ao impacto e à flexão de um novo polímero à base de poliuretano polimerizado por microondas, utilizando a técnica injetável (Microbase) e dois polímeros à base de polimetil metacrilato (PMMA) utilizando a técnica de inclusão e prensagem, sendo um polimerizado por microondas (Acron MC) e um pelo método convencional em banho de água (Meliodent). Dez corpos-de-prova (50 X 6 X

4mm), sem entalhes, de cada material foram confeccionados para cada propriedade e imersos por 1 mês em água a 37°C antes dos testes de impacto do tipo Charpy, com pêndulo de 453,6 g para as resinas Acron MC e Meliodent e de 226,8 g para a resina Microbase. Houve diferença significativa entre os 3 materiais na resistência ao impacto tendo sido o valor da resina Microbase (6,31 kJ/m²) aproximadamente a metade dos valores dos outros 2 materiais (Acron MC – 12,5 kJ/m² e Meliodent – 13,9 kJ/m²). A resistência ao impacto é uma medida da energia absorvida pelo material antes da fratura. A resina Microbase apresentou menor resistência ao impacto, indicando sua fragilidade em relação aos outros dois materiais. Os autores observaram, ainda, que a resina polimerizada pelo calor foi menos rígida que a polimerizada por microondas e relacionaram esses resultados ao maior conteúdo de monômero residual do material Meliodent que foi polimerizado à temperatura de 70° C por 9 horas, sem ciclo terminal em água em ebulição. Segundo os autores, os resultados de resistência ao impacto fornecem suporte adicional para o conteúdo relativamente maior de monômero residual na resina polimerizada pelo calor que naquela polimerizada em microondas, tendo em vista que os valores obtidos com a primeira foram superiores. Tem sido observado, em outros estudos, que as resinas autopolimerizáveis à base de PMMA apresentam maior resistência ao impacto que as termopolimerizáveis, porque o conteúdo de monômero residual maior apresenta um efeito plastificante mais acentuado sobre o polímero.

Takahashi, Chai⁸³, em 2001, investigaram o efeito de tratamentos de superfície na resistência de união, por meio de testes de cisalhamento, entre 3 materiais de reembasamento (Kooliner, Triad VLC e GC Reline) e 1 resina acrílica para base de prótese (Lucitone 199). Corpos-de-prova cilíndricos (10mm de espessura por 8 mm de diâmetro) foram obtidos com a resina Lucitone 199 e armazenados em água destilada a 37° C por 1 mês. As superfícies de união foram: (1) não tratadas, (2) tratadas com diclorometano, (3) tratadas com monômero da resina para base de prótese, (4) tratadas com adesivo ou monômero da resina para reembasamento (Triad VLC e GC com adesivo; Kooliner com monômero), (5)

polidas com lixa de carbetto de silício de granulação 240, ou (6) tratadas com jatos de óxido de alumínio com partículas de 50µm. Após o reembasamento, todos os corpos-de-prova foram submetidos à termociclagem entre 4 e 60° C por 10.000 ciclos. A maior resistência de união da resina Kooliner foi obtida com aplicação de diclorometano (5,6 MPa), enquanto a utilização de adesivo e monômero da resina de base proporcionaram os maiores valores para as resinas Triad (13,4 MPa) e GC (12,9 MPa). O polimento com lixas e a abrasão a ar teoricamente melhoram a resistência de união entre o material reembasador e a resina de base por remover substâncias que podem contaminar a área de união, proporcionar características mecânicas retentivas e maior área superficial para a retenção. Neste estudo, os efeitos desses tratamentos mecânicos foram geralmente positivos, embora nem sempre estatisticamente significantes. Solventes não polimerizáveis, como o diclorometano, agem dissolvendo e expandindo a camada superficial da resina para base de prótese. Esse processo aumenta a difusão dos materiais polimerizáveis, principalmente o metil metacrilato, a partir do material reembasador e promove a formação de um polímero de entrelaçamento mais extenso. Neste estudo, o diclorometano melhorou significativamente a resistência de união do reembasador GC, mas seu efeito não foi significativo para as resinas Kooliner e Triad. Os monômeros da resina de base e dos materiais reembasadores são polimerizáveis. A penetração desses monômeros na resina de base teoricamente aumenta a união por meio de sua participação na polimerização. A aplicação do monômero da resina para base de prótese aumentou a resistência de união dos reembasadores Triad e GC. O tratamento com o adesivo da resina GC demonstrou um efeito positivo comparado com os corpos-de-prova não tratados. O adesivo da resina GC contém 70% de MMA e 30% de acetona. A ação do adesivo da resina GC é, provavelmente, mediada pela ação solvente, não polimerizável, da acetona.

Ainda no ano de 2001, Takahashi, Chai⁸⁴ avaliaram a resistência de união, por meio de testes de cisalhamento, entre quatro polímeros de base (uma resina termoativada, uma processada em microondas, uma resina fluida quimicamente

ativada e uma fotoativada) e quatro resinas para reembasamento (duas quimicamente ativadas e duas fotoativadas). Cilindros das resinas de base (10 mm de espessura por 8 mm de diâmetro) foram polimerizados e, após polimento com lixa de granulação 600, foram armazenados em água destilada a 37°C por 24 horas. Decorrido esse período, uma fita adesiva com orifício de 5 mm de diâmetro foi posicionada sobre a superfície de resina de base e um cilindro de teflon (5 mm de diâmetro interno e 5 mm de altura) foi posicionado sob o orifício. Os materiais de reembasamento foram inseridos no interior dos cilindros e polimerizados, seguindo as recomendações do fabricante. Previamente aos testes, todos os corpos-de-prova foram armazenados em água por quatro meses. Em seguida, 10 corpos-de-prova de cada grupo foram submetidos à termociclagem. A média de resistência de união entre os polímeros de base e os materiais reembasadores variaram do menor valor entre a base da resina Triad e o material Rebaron (4,7 MPa) ao maior valor entre Palapress e Rebaron (15,2 MPa). Os autores concluíram que o tipo de polímero do material de base e do material reembasador pode ter influenciado os resultados de resistência de união.

Também em 2001, John et. al.³⁷ compararam a resistência à flexão da resina Trevalon, à base de PMMA, sem e com reforço de fibras de vidro, aramid e nylon. Dez corpos-de-prova de 65 X 10 X 3 mm foram confeccionados para cada grupo experimental. As fibras apresentavam espessura entre 10 e 15 µm e foram cortadas em comprimento de 5 mm. As fibras foram imersas em monômero por 10 minutos para uma melhor união com a resina acrílica; após isso, as fibras foram removidas do monômero para permitir que o excesso de monômero secasse. A resina e as fibras (2% por massa) foram misturadas cuidadosamente para dispersar as fibras. Após a polimerização, se as amostras apresentassem fibras expostas nas bordas, era realizado o acabamento com pontas diamantadas para evitar a delaminação do reforço. Todos os corpos-de-prova foram armazenados em água a temperatura ambiente por uma semana antes dos testes de flexão de 3 pontos com velocidade de 2 mm/ minuto. No grupo A (controle), a força necessária para fraturar os corpos-de-prova variou de 14 a 18,5 kg; a

resistência a flexão variou de 624,6 a 825,4 MPa, com média de 696 MPa. No grupo B (reforçado com fibra de vidro), a força necessária para fraturar os corpos-de-prova variou de 18,5 a 23,5 kg; a resistência a flexão variou de 825,4 a 1048,5 MPa, com média de 979,2 MPa. No grupo C (reforçado com aramid) a força necessária para fraturar os corpos-de-prova variou de 16,5 a 22 kg; a resistência a flexão variou de 736,2 a 981,5 MPa, com média de 849,9 MPa. Para o grupo D (reforçado com fibra de nylon) a força necessária para fraturar os corpos-de-prova variou de 15 a 19 kg; a resistência a flexão variou de 619,5 a 847,7 MPa, com média de 733,4 MPa. Somente o grupo controle e o reforçado com nylon, não apresentaram diferença estatisticamente significativa. Diferentes tipos de fibras de vidro são produzidos comercialmente. Dentre esses, a fibra E-glass, que possui alto conteúdo de alumina e baixo álcali e borosilicato, tem sido apontada como superior em relação à resistência à flexão. Considerando-se que o módulo de elasticidade das fibras de vidro é alto, a maior parte das tensões é recebida por elas sem deformação. Assim, neste estudo os corpos-de-prova reforçados com fibras de vidro apresentaram melhor resistência à flexão que os demais grupos. O reforço das resinas para base de prótese com fibras de vidro, aramid e nylon melhorou a resistência à flexão da resina. O tipo de fibra a ser utilizado varia de acordo com o tipo de prótese a ser confeccionada. Aramid e fibra de vidro parecem ser adequadas para uso em longo prazo em prótese total e em prótese parcial com extremidade livre, que são considerados propensos a fraturas.

No mesmo ano, Nagai et. al.⁶⁰ investigaram a eficácia de 2 materiais para reforço (fios de metal e fibras de vidro) e um tratamento de superfície (cloreto de metileno) para reparos de bases de prótese. Seis corpos-de-prova (2,5 X 10 X 64 mm) da resina termopolimerizável Acron foram confeccionados, seccionados e as superfícies foram biseladas em 45° e polidas com carbetto de silício (granulação 600). Em seguida, as duas partes foram unidas com a resina autopolimerizável (Unifast II), tendo sido as superfícies de união previamente tratadas de acordo com as condições experimentais de cada grupo: A – sem tratamento; A/T - pré-tratamento com cloreto de metileno; M – reforço com fios de metal; M/T - reforço

com fios de metal e pré-tratamento com cloreto de metileno; G - reforço com fibras de vidro; G/T - reforço com fibras de vidro e pré-tratamento com cloreto de metileno. O pré-tratamento de cloreto de metileno foi realizado por 5 segundos. Nos grupos M e M/T, uma cavidade (1 X 5 X 30 mm) foi preparada no centro de cada corpo-de-prova, todo espaço foi preenchido com a resina autopolimerizável e uma rede metálica foi posicionada. Para os grupos G e G/T fibras de vidro foram colocadas na cavidade. Todos os corpos-de-prova foram armazenados em água destilada a 37°C por 48 horas antes dos testes de flexão em 3 pontos. A média de resistência transversal do grupo controle (resina Acron sem reparo) foi de 87,2 MPa. O menor valor registrado foi o do grupo A (53,2 MPa) e o maior o do grupo G/T (96,8 MPa). Para reforço com fibra de vidro, os corpos-de-prova com as superfícies tratadas com cloreto de metileno apresentaram valores significativamente maiores do que o grupo sem tratamento. Todos os corpos-de-prova do grupo A fraturaram na interface entre a resina termopolimerizável e a autopolimerizável, enquanto os do grupo A/T fraturaram no centro da resina autopolimerizável. Os corpos-de-prova dos grupos M, M/T, G e G/T fraturaram na extremidade do reforço, independente do pré-tratamento com o cloreto de metileno. O tratamento da superfície da resina termopolimerizável com cloreto de metileno antes do reparo resultou em melhoria na resistência transversal de todos os corpos-de-prova, independente se foram reparadas com material de reforço. O valor de resistência transversal foi mais elevado quando a superfície tratada foi combinada com reforço de fibra de vidro.

A resistência transversa, ao impacto, à deflexão e o módulo de elasticidade de 6 resinas acrílicas para base de prótese, sendo 2 de alto impacto (Trevalon Hi e Lucitone 199), 3 termopolimerizáveis (QC 20, Meliodent e Trevalon) e 1 injetável (SR- Ivocap), foram avaliadas por Uzun, Hersek⁸⁸ em 2002. Para a resistência ao impacto, os corpos-de-prova foram preparados com 7 mm de largura e um entalhe de 3,5mm foi realizado. O teste de impacto utilizado foi o tipo Charpy, tendo sido a força aplicada no corpo-de-prova do lado oposto ao entalhe. Os resultados revelaram diferença significativa entre as resinas acrílicas: SR Ivocap apresentou

maior resistência ao impacto (5.845,2 N/m), seguida de Trevalon Hi (2.666,4 N/m), Lucitone 199 (2.475,4 N/m), Meliodent (2.051,3 N/m), QC 20 e Trevalon, as quais apresentaram valores de resistência ao impacto aproximadamente 50% menores comparados com os das outras resinas. A resistência ao impacto é a energia necessária para causar a fratura do material quando submetido à força de atuação rápida. As resinas acrílicas de alto impacto são co-polímeros de acrílico e butadieno e formam uma matriz de acrílico com inclusões de borracha, as quais previnem a propagação da trinca. Embora essas resinas apresentem maior resistência ao impacto que as resinas convencionais, não proporcionaram valores significativamente maiores que todas as resinas convencionais avaliadas. A resina injetável demonstrou valor de resistência ao impacto significativamente maior que os outros materiais avaliados.

Em 2003, Azzarri et al.⁸ investigaram o efeito de diferentes condições de aquecimento por microondas (tempo e potência) sobre o nível de monômero residual e as propriedades mecânicas de dureza e resistência ao impacto, de uma resina acrílica para base de prótese polimerizada por microondas (Ruthinium Micro Poll). Duas resinas termopolimerizáveis comerciais, uma de rápida polimerização (Protoquick) e uma convencional (Protoplast), ambas fabricadas com o mesmo polímero, foram utilizadas para comparação. Um forno de microondas doméstico foi utilizado para a polimerização dos corpos-de-prova, que foram preparados com diferentes potências e tempos de polimerização, proporcionando as seguintes condições experimentais: GI (200 W, 10 min.), GII (500 W, 5 min.), GIII (500 W, 10 min.) e GIV (800 W, 5 min.). A resistência ao impacto foi determinada pelo método Charpy e 6 corpos-de-prova com dimensões de 9,4 X 8,2 X 60 mm foram confeccionados para cada grupo. Os grupos GI (5,62 kJ/m²) e GIV (18,81 kJ/m²) mostraram diferenças significantes entre si e para os grupos (GII – 15,35 kJ/m² e GIII – 14,05 kJ/m²). A análise de monômero residual demonstrou que, inicialmente, ocorre uma liberação com velocidade mais rápida seguida por velocidade constante de liberação no período de 24 horas. Houve diferença significativa entre os grupos GI e GIII quando comparados com os

grupos GII e GIV, tendo sido os menores valores observados para esses últimos. Todos os valores de resistência ao impacto, observados para as resinas polimerizadas por microondas, foram semelhantes àqueles observados em outros estudos para resinas à base de metil metacrilato, porém reforçadas com fibras de vidro ou polietileno, e maiores que aqueles obtidos no presente estudo para as resinas termopolimerizáveis convencionais (Protoplast – $1,08 \text{ kJ/m}^2$) e polimerizadas com ciclo rápido (Protoquick – $2,98 \text{ kJ/m}^2$).

No mesmo ano, Karacaer et al.⁴¹ determinaram o efeito de várias concentrações e comprimentos de fibras de vidro na resistência transversal, módulo de elasticidade e resistência ao impacto de polímeros para base de prótese, sendo um autopolimerizável pela técnica de injeção (PalaXpress) e outro termopolimerizável pela técnica de inclusão e prensagem (Meliodent). Os comprimentos de fibras avaliados foram de 4, 6 e 8 mm e as concentrações utilizadas para cada comprimento foram de 1, 3 e 5%. Grupos controle, sem qualquer reforço, também foram confeccionados para as duas resinas. Os corpos-de-prova para a resistência ao impacto (60 X 7,5 X 4 mm) foram armazenados em água a $37 \pm 1^\circ \text{ C}$ para atingir a saturação previamente ao teste Charpy. Tanto na técnica de injeção como na de inclusão e prensagem, a resistência ao impacto foi afetada significativamente pela concentração de fibras, enquanto o efeito do comprimento da fibra não foi significativo. Para os corpos-de-prova da resina injetável, houve aumento de aproximadamente 34% com o aumento na concentração de fibra, produzindo melhores resultados com 5% (controle – $8,0 \text{ kJ/m}^2$; 5% - $10,7 \text{ kJ/m}^2$). Entretanto, para os grupos da resina processada por prensagem, foi observada tendência de redução na resistência ao impacto (controle – $8,5 \text{ kJ/m}^2$; 5% - $6,3 \text{ kJ/m}^2$) com o aumento na quantidade de fibras. Essa redução pode ser resultado do agrupamento de fibras e dos espaços vazios que podem agir como pontos de concentração de tensões na matriz do polímero e, assim, diminuir a adesão interfacial entre fibra e matriz. A presença de espaços entre a matriz e as fibras também pode diminuir a capacidade de distribuição de forças do compósito.

Khasawneh, Arab³⁹, ainda em 2003, identificaram as causas dos tipos de fratura de próteses totais mais frequentes. Os dados foram coletados em clínicas de prótese associadas com laboratórios protéticos em quatro hospitais militares durante 16 meses. Pacientes atendidos para o reparo de fratura de próteses foram examinados e os seguintes dados foram registrados: idade e sexo do paciente, idade da prótese no momento em que ocorreu a fratura e o tipo de prótese (total ou parcial, acrílica ou de metal). As próteses fraturadas foram reparadas utilizando-se procedimento convencional e resina acrílica autopolimerizável. Durante o estudo, 522 próteses foram reparadas: 320 (58%), estavam fraturadas, 78 (14%) envolvia recolocação de dentes artificiais, e o restante 154 (28%) foram fraturas de próteses parciais que foram excluídas do estudo, devido ao fato de que a natureza dos reparos e as causas das fraturas serem diferentes das observadas nas próteses totais. Os resultados mostraram que a proporção entre as fraturas das próteses superiores em relação às inferiores é de 2:1. A maior parte das fraturas relatadas (63%) ocorreu em pacientes do sexo masculino; somente 7 próteses apresentaram mais que uma fratura, das quais 4 eram utilizadas por pacientes do sexo masculino. A média de idade das próteses inferiores foi de 8,1 anos, enquanto que a das próteses superiores foi de 7,6 anos e a média para todas as próteses fraturadas foi de 7,8 anos. Dos 78 dentes que se soltaram ou fraturaram, 59 (78%) eram relacionados com próteses superiores. A fratura na linha média foi o tipo de fratura mais comum 195 (61%); dessas 139 (71%) ocorreram nas próteses superiores e 56 (29%) nas inferiores. Adaptação insatisfatória foi a principal causa de fratura nas próteses superiores (40%), enquanto a queda da prótese foi a maior causa nas inferiores (39%). Ausência de oclusão balanceada foi a segunda maior causa de fratura nas superiores (19%), enquanto foi a terceira causa de fratura nas inferiores (13%). A maioria das fraturas das próteses superiores, 196 (92%) ocorreu durante a função, enquanto 46 (43%) das próteses inferiores fraturaram devido à queda. Menos da metade (42%) das próteses havia sido reparada pela primeira vez e o restante (58%) já havia sido reparado uma ou mais vezes. A fratura na linha média foi o tipo mais comum de fratura, a qual, segundo os

autores, representa falha de fadiga flexural, que resulta da deformação cíclica da prótese durante a função.

Ainda em 2003, Zappini et al.¹⁰⁰ estudaram a propriedade de resistência à fratura de resinas para base de prótese, convencional e de alto impacto, e compararam os resultados com medidas de resistência ao impacto. Quatro testes mecânicos foram utilizados: 3 de resistência ao impacto (2 do tipo Izod e 1 do tipo Charpy) e 1 de resistência à fratura. Sete resinas para base de prótese termopolimerizáveis foram selecionadas: 2 convencionais e 3 de alto impacto, utilizando a técnica de prensagem; 1 material de alto impacto utilizando a técnica de injeção; 1 sistema de alto impacto, mono componente, processado utilizando a técnica de injeção. Para o teste de resistência ao impacto Charpy foram confeccionados 12 corpos-de-prova com dimensões de 80 X 10 X 4 mm. O entalhe foi feito na região central do corpo-de-prova, com profundidade de 2 mm, permanecendo 8 mm de material intacto. Todos os corpos-de-prova foram armazenados 7 dias em água a 37° C, seguido de 1 hora a 23° C antes dos testes. O teste foi realizado com um pêndulo 0,5 J de energia e velocidade de 2,9 m/s. Nas duas resinas convencionais (Major 2 Base e Probase Hot) e 1 resina de alto impacto injetável (Ivocap Plus) não foram encontradas diferenças significativas (1,36 kJ/m², 1,36 kJ/m² e 1,47 kJ/m², respectivamente). Para o sistema mono componente injetável de alto impacto (Injectall IPF HI-I), a resistência foi significativamente menor (0,92 kJ/m²) que a resistência dos 3 últimos materiais citados. As resinas de alto impacto Trevalon Hi (2,71 kJ/m²) e GC Luxon (2,85 kJ/m²) não apresentaram diferença significativa. A resina de alto impacto Lucitone 199 (2,89 kJ/m²) foi estatisticamente igual à resina GC Luxon e superior à resina Trevalon Hi. Dependendo da configuração da carga (Izod ou Charpy), dimensões do corpo-de-prova e a presença de entalhe e sua geometria, esse teste pode resultar em valores diferentes de resistência ao impacto. Embora exista adequada correlação entre as mensurações obtidas nos testes Charpy e Izod, seus valores absolutos diferem um do outro.

Jagger et al.³⁵, em 2003, avaliaram o efeito da adição de fibras de polimetil metacrilato, tratadas superficialmente, na resistência à flexão e ao impacto de uma resina para base de prótese de alto impacto, Lucitone 199. As fibras de polimetil metacrilato com 0,75 mm de diâmetro foram fornecidas em forma contínua e utilizadas em dois comprimentos: 45 ou 70 mm. As fibras foram adicionadas à resina em duas camadas, sendo a inferior paralela e a superior perpendicular em relação ao comprimento do corpo-de-prova. A superfície das fibras foi tratada com uma emulsão de látex de butadieno estireno. Placas de resinas foram polimerizadas em banho de água a 70° C por 7 horas, seguidas por 3 horas a 100° C. As placas foram submetidas ao acabamento com lixas de granulação 320 e 600, sob irrigação. A seguir, foram recortadas para obtenção dos corpos-de-provas (50 X 6 X 4 mm), que foram armazenados em água à 37° C \pm 2° C até completa saturação, previamente aos testes de impacto. Um entalhe em forma de V, com profundidade de 0,8 mm, foi realizado nos corpos-de-prova, permanecendo 3,2 mm de material intacto. Esse entalhe concentra as tensões e reduz a influência de defeitos presentes na superfície do corpo-de-prova. A resistência ao impacto foi mensurada utilizando um pêndulo do tipo Charpy e os testes foram realizados a seco a 20 \pm 2° C. Os valores obtidos foram de 11,1 kJ m⁻² e 12,5 kJ m⁻² para a resina com e sem reforço, respectivamente. Esses resultados demonstraram que a presença do reforço diminuiu a resistência ao impacto do material avaliado. Para a resistência à flexão, os resultados foram semelhantes com valores de 60,4 MPa para os corpos-de-prova sem reforço e de 57,8 MPa para aqueles reforçados com as fibras.

Polat et al.⁶⁷, também em 2003, avaliaram a sorção e solubilidade de água e a estabilidade dimensional de duas resinas acrílicas para base de prótese, uma convencional e outra injetável, após reforço com fibras de vidro. Foram utilizados diferentes concentrações (1, 3 e 5,0%) e comprimentos (4, 6 e 8,0 mm) da fibra de vidro E-glass na massa polimérica. Para avaliar a sorção e solubilidade em água as amostras foram inicialmente dessecadas e armazenadas em água por 90 dias. As leituras de alteração dimensional foram realizadas após os corpos-de-prova terem

vido: 1- polimerizados, 2- dessecados em vácuo durante 4 dias, 3- armazenados em água a 37°C durante 15 dias e 4- armazenados em água a 37°C durante 30 dias. A sorção e solubilidade da resina injetável foi menor em comparação àquela produzida pela resina convencional (prensada). As fibras de vidro curtas (4,0 mm) diminuíram a sorção de água e solubilidade e não comprometeram a estabilidade dimensional das resinas avaliadas.

Também em 2003, Bayraktar et. al.¹⁰ determinaram e compararam a quantidade de monômero residual MMA em corpos-de-prova de resinas termopolimerizável (Meliodent Heat Cure), autopolimerizável (Meliodent Rapid Repair) e polimerizada por microondas (Acron MC) com diferentes ciclos de polimerização e com a adição ou não de reforço de fibra de vidro. Os corpos-de-prova apresentavam dimensões de 10 X 10 X 3 mm e as fibras de vidro utilizadas como reforço tinham diâmetro de 13,2 µm. Para cada corpo-de-prova, foram preparadas fibras com uma proporção de 11,5% da matriz do polímero, em massa, as quais foram impregnadas com PMMA/ MMA na proporção pó/ líquido (P/L) de 10/ 8 por 1 minuto e colocado no centro da massa acrílica. Dez corpos-de-prova foram confeccionados para cada ciclo de polimerização (5 reforçados e 5 não reforçados). Os corpos-de-prova foram mantidos em tubos de vidro separadamente (de acordo com o ciclo de polimerização) a temperatura ambiente. A quantidade de MMA residual foi determinada 4 horas após a demuflagem, por meio de cromatografia líquida de alta resolução. Diferenças significantes na quantidade de MMA residual foram observadas entre os grupos com e sem reforço. A quantidade de MMA residual em ordem do menor para o maior foi: resina termopolimerizável com ciclo longo e período em ebulição longo (9 horas a 70°C e 3 horas a 100°C), com ciclo curto e período em ebulição curto (20 minutos a 70°C e 22 minutos a 100°C), resina polimerizada por microondas, autopolimerizável processada em água a 60° C, termopolimerizável com ciclo convencional (9 horas a 70°C) e autopolimerizável processada em temperatura ambiente, que apresentou os maiores valores de quantidade de MMA residual. O reforço de fibra de vidro não produziu diferença significativa na quantidade de

MMA residual entre os corpos-de-prova de resina termopolimerizável processada com ciclo convencional e de resina autopolimerizável. Entretanto, causou aumento da quantidade de MMA nos grupos polimerizados com período em ebulição longo e curto e irradiação por microondas. O conteúdo de MMA na mistura de PMMA/MMA de baixa viscosidade utilizada para impregnar as fibras parece ter sido responsável por esses resultados.

Chen, Liang¹⁶, em 2004, avaliaram as propriedades mecânicas de uma resina acrílica reforçada por quatro tipos de cargas inorgânicas (argila, pó de vidro, sílica e zircônia) e um tipo de fibra de poliéster. As cargas foram misturadas com a resina acrílica em várias combinações e volumes. A fibra foi cortada com 6 mm de comprimento sem qualquer tratamento de superfície e misturada ao pó da resina acrílica em concentração de 3% em massa. Blocos de resina acrílica (70 x 20 x 15 mm³), com ou sem fibra ou carga, foram polimerizadas em banho de água a 70°C por 15 horas, seguidas de uma hora a 90°C. Cinco amostras (63,5 X 12,75 X 10 mm³) foram seccionadas, entalhes em forma de V foram confeccionados com profundidade de 2,54 mm e o teste de resistência ao impacto Izod foi realizado com pêndulo de 2 J. Outro bloco de resina foi preparado e seccionado em 6 amostras (65 X 10 X 2,5 mm³) as quais, após imersão em água a 37°C por 50 ± 2 horas, foram submetidas ao teste de flexão em 3 pontos. Os fragmentos coletados após os testes de resistência ao impacto foram utilizados para o teste de dureza Knoop. O valor de resistência ao impacto para as amostras sem carga e sem fibra foi de 1,16 ± 0,19 kJ/m² e o valor para as amostras reforçadas com fibra e sem carga foi de 6,01 ± 0,53 kJ/m². Para as amostras que continham fibra e carga, a resistência ao impacto apresentou tendência de aumentar com a adição de pequeno volume, mas diminuir com grande volume de carga (maior que 4%). O pó de sílica apresentou o melhor resultado de resistência ao impacto em várias concentrações. O melhor resultado de resistência ao impacto foi com a incorporação de 10% de sílica (8,49 ± 1,51 kJ/m²). O grupo controle para a resistência a flexão foi de 1101,14 ± 98,13 kgf/cm² e o valor médio dos corpos-de-prova contendo somente fibra foi de 963 ±

158,44 kgf/cm². A resistência à flexão diminuiu quando carga e fibra foram adicionadas, exceto para a adição de 2% de pó de vidro (1176,74 ± 72,39 kgf/cm²) ou sílica (1111,11 ± 78,29 kgf/cm²). Concentração acima de 4% levou a grande diminuição na resistência para todos os tipos de carga. O menor valor foi para a adição de 40% de argila (461,33 ± 43,39 kgf/cm²). A dureza Knoop para o grupo controle foi de 17,88 ± 1,82 kgf/mm² e o valor médio para o grupo contendo somente fibra foi de 17,92 ± 1,46 kgf/mm². O melhor resultado foi obtido com a adição de 40% de sílica (25,02 ± 2,53 kgf/mm²). Exceto para a dureza superficial, a quantidade de carga produziu efeito limitado e a incorporação de fibras de poliéster a 3% aumentou a resistência ao impacto. Todas as cargas tiveram algum efeito, aumentando a resistência ao impacto e a dureza, mas pequeno efeito na resistência à flexão. Para as três propriedades mecânicas, a adição de 2% de sílica com fibra de poliéster proporcionou os melhores resultados.

Kim, Watts⁴³, ainda em 2004, avaliaram o efeito do reforço de fibra de vidro na resistência ao impacto de próteses totais superiores confeccionadas com resina acrílica de alto impacto (Lucitone 199). Um modelo superior de um paciente edentado foi duplicado com silicone, obtendo-se 20 modelos. Sobre um desses modelos foi encerada a base da prótese e foram montados os dentes artificiais. A prótese encerada foi duplicada com silicone, obtendo-se 20 próteses padronizadas que foram incluídas em mufla. Metade (n=10) foi utilizada como controle. Para o reforço das outras 10 próteses, foi utilizado um sistema de fibras E-glass com um polímero altamente poroso que permite boa impregnação com a resina acrílica. Uma lâmina (60mm X 150mm) de fibra foi cortada para revestir inteiramente a região do palato da base de prótese. As próteses foram confeccionadas com a resina Lucitone 199, polimerizada por 9 horas a uma temperatura de 73,5° C. Todas as próteses foram armazenadas em água a 37°C por 2 meses antes dos testes. O impacto foi realizado com um aparato especialmente desenhado que consiste em um tubo plástico e uma hemi esfera de madeira com raio de 50mm e massa de 0,836kg. A prótese foi colocada em uma base presente na parte inferior do tubo e a hemi esfera foi liberada sobre a prótese

através do tubo e a altura inicial foi anotada. Se a prótese não fraturasse com a altura inicial de 60 cm, o teste era repetido com a mesma altura até sua fratura. Se a prótese ainda não fraturasse após 40 repetições, a altura era aumentada para 80 cm. Para cada grupo foram determinadas a energia para iniciar a trinca e a energia necessária para falha de fratura final da prótese. Os resultados revelaram que a resistência ao impacto da resina de alto impacto reforçada com E-glass foi significativamente maior que a do controle, tanto no início da fratura (controle – 90,0 J; reforçada – 201,7 J) quanto na fratura completa (controle – 95,9 J; reforçada – 277,9 J). Nos dois grupos, a resistência ao impacto entre o início da trinca e a fratura final foi significativamente diferente, porém mais energia foi necessária para a fratura completa a partir da trinca inicial nas próteses com reforço.

Lai et al.⁴⁸, também em 2004, estudaram o tempo e a temperatura necessários para a completa conversão do monômero do polímero e determinar se as bases das próteses processadas pela energia de microondas variaram significativamente na morfologia em relação ao método de polimerização em banho de água. O tamanho e a distribuição da fase borachóide foram correlacionados com métodos de aquecimento, potência de microondas em propriedades físicas e mecânicas. A resina Optilon-399 um polímero a base de PMMA foi utilizado nesse estudo. Corpos-de-prova de 65 X 15 X 10 mm foram confeccionados incluídos em mufla e polimerizados em um microondas doméstico ou em banho de água a 70° C por 9 horas. Para avaliar a mudança de temperatura dois termopares foram posicionados nos orifícios da parte superior da mufla no centro de cada molde da resina de base de prótese. As mudanças na temperatura com o tempo foram registradas durante o aquecimento do microondas a 80, 160 e 240W, respectivamente. A mensuração de 10 blocos de resina para cada potência foi realizada. As muflas para microondas contendo dois blocos de resina do mesmo tamanho foram processadas a 80, 160, 240 e 560 W por 15, 10, 7 e 2 minutos, separadamente. Cada mufla foi levada novamente ao microondas e polimerizada por mais 2 minutos a 560 W. Dez blocos para cada condição foram

confeccionados e testados para dureza, porosidade, propriedades flexurais, solubilidade e peso molecular em seqüência. O tamanho e a distribuição foram mensurados por microscopia eletrônica de transmissão (TEM). A dureza foi determinada com uma carga de 300 g e tempo de 30 segundos. Quinze áreas foram mensuradas em pontos uniformemente selecionados em ambas as superfícies, para cada corpo-de-prova polimerizado em banho de água. Em cada condição de polimerização pelo método de microondas, no mínimo 6 áreas foram mensuradas por corpo-de-prova. Para se determinar a porosidade os blocos polidos foram avaliados em um ensaio com frequência de 10 Hz utilizando um transdutor de 25,4 mm com uma distância focal de aproximadamente 38,1 mm. O teste mecânico utilizado foi o de 3 pontos com uma proporção de span para espessura de 4:1. Uma amostra da superfície de fratura foi cortada em pedaços de 0,2 g, para análise da solubilidade. Esses pedaços foram colocados em um frasco circular com 150 ml de tetrahidrofurano (THF) em um ciclo de 45 minutos. Esse procedimento continuou por 25 a 26 horas para assegurar que todo PMMA solúvel foi extraído para a solução. A parte insolúvel foi seca e pesada para determinar a porcentagem. O peso molecular foi realizado a partir de GPC (Gel permeation chromatography). A microscopia dos corpos-de-prova polimerizados por microondas a 80, 160, 240 ou 560 W apresentou médias dos tamanhos da fase borrachóide de $0,379 \pm 0,060$, $0,378 \pm 0,070$, $0,370 \pm 0,072$ e $0,354 \pm 0,062$, respectivamente. A temperatura dos corpos-de-prova polimerizados em alta potência aumentou mais rapidamente e alcançaram um valor constante mais rapidamente do que em potências menores. No caso de 240 W, a temperatura das resinas começou a aumentar rapidamente a $97 \pm 16^\circ \text{C}$ após a irradiação por 5 minutos. A temperatura tende a 120°C com desvio padrão de $5,6^\circ \text{C}$ a $7,4,3^\circ \text{C}$ a 8 minutos e, finalmente, 3°C de 9 a 15 minutos. No primeiro minuto, para a resina polimerizada a 160 W, a temperatura aumentou a quase a mesma taxa que a polimerizada com 240 W. Além de 1 minuto, o incremento de temperatura foi mais lento e foi $75 \pm 8^\circ \text{C}$ a 6 minutos. Após os corpos-de-prova serem irradiados por 6 minutos, a temperatura aumentou mais rapidamente para $107 \pm 7^\circ \text{C}$ a 9 minutos, então a temperatura final foi de $111 \pm 3^\circ \text{C}$ de 10 para 15 minutos. A

mesma tendência foi observada para a polimerização a 80 W. O platô de temperatura foi de $109 \pm 4^\circ \text{C}$ quando os corpos-de-prova foram irradiados a 80 W de 14 a 20 minutos. A média dos valores da parte insolúvel para a resina polimerizada por banho de água foi de $60,6 \pm 2,2\%$ e para as resinas polimerizadas por microondas foi de 60 a 68%. Os blocos de resina polimerizada em banho de água apresentaram média de porosidade de 0 a 10%, enquanto que a média dos polimerizados por microondas a 80 e 160 W foi de 60 e 65%, respectivamente. Os blocos polimerizados a 560 W apresentaram as maiores quantidades de porosidade, 80% e os polimerizados a 240 W de 40%. O peso molecular variou entre 2,37 e 2,75. A média de dureza Vickers das resinas polimerizadas a 160 ($17,20 \pm 0,27 \text{ VHN}$) e 560 W ($17,25 \pm 0,32 \text{ VHN}$) apresentaram médias estatisticamente menores do que corpos-de-prova polimerizados em banho de água ($17,62 \pm 0,78 \text{ VHN}$). Entretanto, os corpos-de-prova polimerizados por microondas a 80 ($17,41 \pm 0,28 \text{ VHN}$) e 240 W ($17,65 \pm 0,27 \text{ VHN}$) não apresentaram diferença estatística significativa em relação aos polimerizados em banho de água. A resistência a flexão da resina polimerizada em banho de água foi de $144 \pm 17 \text{ MPa}$ e foi estatisticamente maior do que as médias das resina polimerizadas por microondas. A energia de microondas pode polimerizar de forma eficiente o polímero para base de prótese. Diferenças estatisticamente significante na morfologia e nas propriedades de flexão foram encontradas entre os métodos de polimerização. A escolha de um adequado tempo e potência para a polimerização é importante para diminuir a porosidade.

Em 2005, El-Mahdy et. al.²¹ investigaram o efeito de diferentes agentes de união sobre a resistência à flexão e à fratura, a deformação e a característica microestrutural de resina acrílica termopolimerizável PMMA reforçada com cerâmica. As amostras preparadas para cada teste laboratorial foram divididas em 3 grupos (n=7): A) amostras da resina acrílica reforçada com 15% de alumina (Al_2O_3) em volume, sem qualquer tratamento ou agente de união; B) amostras de resina acrílica reforçada com 15% de alumina (Al_2O_3) em volume, após tratamento com silano Monobond-S; C) amostras de resina acrílica reforçada com

15% de alumina (Al_2O_3) em volume, após tratamento com silano 4-Metacriloxietil trimelitato anidro Metabond B & C. As dimensões das amostras para o teste de resistência à flexão foram de 65x10x2,5mm e para o teste de resistência ao impacto 75x10x10mm, com entalhe de 2 mm. Todas as amostras foram cicladas termicamente por 500 ciclos entre 60°C e 4°C. O teste de resistência à fratura em 3 pontos foi realizado com velocidade de 0,5cm/minuto. O teste de resistência ao impacto utilizado foi o Charpy, onde o pêndulo aplicou a força do lado não entalhado do corpo-de-prova. Para o teste de deformação, foi utilizado um modelo padrão metálico, simulando rebordo maxilar edêntulo seccionado. A discrepância ou espaço entre o padrão metálico e as bases de prótese foram observados na região posterior do palato. Essa distância foi mensurada em 5 locais. A análise microestrutural foi realizada por microscopia eletrônica de varredura após a fratura das amostras para avaliar a forma e a distribuição das partículas de alumina no interior da massa de resina. A resistência à flexão foi significativamente maior para os grupos B e C em relação ao grupo A. Entretanto, o aumento não foi significativo quando os grupos B e C foram comparados. Para a resistência ao impacto, os grupos B e C foram estaticamente iguais e significativamente maiores do que o grupo A. Para o teste de deformação, não houve diferença estatística significativa entre os 3 grupos. A análise microscópica da superfície fraturada do grupo sem tratamento com silano (Grupo A), revelou a separação das partículas de alumina da matriz de resina. Para os grupos B e C, tratados com Monobond-S e 4-meta, respectivamente, a análise microscópica revelou distribuição das partículas de alumina no interior da resina e poucos espaços pequenos entre o reforço e a matriz de resina.

No mesmo ano, Meng, Latta⁵⁷ avaliaram a resistência ao impacto, a resistência flexural, o módulo flexural e a distância de deformação elástica de resinas para base de próteses de alto impacto e convencional. Para a resistência flexural, módulo flexural e a distância de deformação elástica foram confeccionadas barras de 86X11X3 mm e armazenadas a 23°C e umidade de 50% por 24 horas previamente aos testes. A resistência flexural, módulo flexural e a

distância de deformação elástica foram determinadas por meio do teste de flexão em 3 pontos. A resistência ao impacto foi determinada utilizando-se o teste Izod em amostras não entalhadas. A distância de deformação elástica foi determinada pela distância que a barra defletiu no teste de flexão antes da deformação irreversível ou fratura. A resina Lucitone 199 apresentou valores significativamente maiores do que Fricki Hi-Impact, Probase Hot e Sledgehammer Maxipact nas propriedades de resistência ao impacto, flexural e distância de deformação elástica. O material Lucitone 199 apresentou o menor valor de módulo flexural. Esses resultados foram consistentes com um material menos friável e que absorve mais energia. A utilização de um polímero modificado por borracha nas resinas Lucitone 199 e Fricki Hi-Impact levou ao melhor desempenho nas propriedades testadas do que os materiais em que são empregados agentes de ligação cruzada e altos níveis de iniciador. As amostras foram armazenadas em umidade de 50% e não imersas em água por 24 horas. Os autores relataram que as resinas convencionais liberam monômero residual durante a imersão por 24 horas. Isso as tornaria materiais mais frágeis e acentuaria a diferença entre as resinas convencionais e as de alto impacto que contêm borracha adicional.

Também em 2005, Franklin et al.²⁴ investigaram o efeito da adição de flocos de vidro, não tratados, na resistência à fratura (toughness) de uma resina à base de PMMA (Trevalon). Os flocos de vidro foram adicionados em quantidades de 5, 10 e 20% em massa, no pó da resina mantendo constante a quantidade de líquido. Os flocos foram primeiro misturados ao pó e, então, o líquido foi adicionado. Após a polimerização, os corpos-de-prova (65 X 25 X 3 mm) foram mantidos em umidade de 100% a 37° C por 14 dias antes dos testes. Um sulco em forma de V foi realizado em 90° na longitudinal dos corpos-de-prova, com profundidade de 1 mm, permanecendo intactos 2 mm da espessura. Seis corpos-de-prova para cada grupo foram confeccionados e submetidos ao teste de dupla torção. A análise estatística revelou que os grupos com reforço apresentaram valores estatisticamente maiores que o do controle e que a adição de 5% de flocos

de vidro proporcionou resistência à fratura “toughness” significativamente maior que a adição de 10 e 20%. Após a polimerização, os flocos de vidro proporcionaram uma aparência granular à resina acrílica. O exame com maior aproximação demonstrou que a superfície era muito lisa, com o material do reforço sendo polido nivelando-se com a resina acrílica. Neste estudo preliminar, também foi observado que a pré-imersão dos flocos de vidro não teve efeito nas propriedades finais do material. Além disso, tornou o material mais difícil de manipular, pelo fato dos flocos sedimentarem rapidamente necessitando de constante mistura para garantir massa homogênea. Com esses resultados, os autores concluíram que a adição de floco de vidro na resina à base de PMMA aumentou consideravelmente a resistência à fratura e podem ser simplesmente adicionados ao pó da resina. Assim, as próteses podem ser confeccionadas com os mesmos procedimentos utilizados com resinas sem reforço.

Narva et. al.⁶¹, ainda em 2005, avaliaram a fadiga em flexão de um polímero para base de prótese (Palapress) reforçadas com várias fibras. Seis corpos-de-prova (3 X 5 X 50 mm) foram confeccionados de polimetil metacrilato autopolimerizável para cada grupo de acordo com as fibras utilizadas como reforço: A – sem reforço; B - malha de polietileno não impregnada (Ribbond); C - fibra de vidro pré-impregnada com Bis-GMA (Fibrekor); D - fibra de vidro pré-impregnada com polímero poroso PMMA (Stick); E - fibra de vidro pré-impregnada com matriz de PMMA-Bis-GMA (EverStick). O número de ciclos para a falha foi medido por meio de teste de fadiga com deflexão constante dos corpos-de-prova com um máximo de 100.000 ciclos. Os testes foram realizados em água a $22 \pm 2^\circ$ C a uma frequência de 2 Hz. As fibras foram colocadas em vários locais, tanto no lado de compressão quanto no lado de tração. Os seis corpos-de-prova do grupo controle fraturaram em duas partes após 632 ciclos com desvio padrão de 109 ciclos. Quando o reforço foi colocado no lado da tração, foram necessários 29.724 ciclos para fraturar os corpos-de-prova do grupo C e 100.000 ciclos para os do grupo E. No grupo C, um dos seis corpos-de-prova continuou intacto, enquanto em 4 a direção da fratura passou pelas fibras e um

fraturou em duas partes. No grupo E, 2 corpos-de-prova permaneceram intactos, em 2 a fratura foi detida pelas fibras e em 2 a fratura passou através das fibras. No grupo B, a média de ciclos para a fratura foi de 23.220 e no grupo D foi de 100.000 ciclos. Em todas as amostras do grupo B a fratura passou através das fibras, enquanto todas as amostras do grupo D mantiveram-se intactas. Quando as fibras de reforço estavam localizadas no lado da compressão, a média do número de ciclos para a falha do grupo C foi de 11.790 e no grupo E 15.495. Em 4 corpos-de-prova do grupo C a fratura foi contida pelas fibras, em 1 a fratura passou através das fibras e 2 fraturaram em 2 partes. No grupo B, o número de ciclos para a falha foi de 2.886 e no grupo D 100.000 ciclos. Em todos os corpos-de-prova do grupo B a fratura passou através das fibras, enquanto no grupo D, a fratura foi contida pelas fibras em todos os corpos-de-prova. Os resultados demonstraram que o reforço que permite que as fibras sejam distribuídas uniformemente na resina para base de prótese, ou aquele que é colocado no lado de tração, proporciona reforço mais eficaz contra flexões repetidas que o reforço de fibras localizadas no lado da compressão.

Também em 2005, Narva et al.⁶² determinaram a flexão em 3 pontos e módulo de flexão de uma resina para base de prótese autopolimerizável (Palapress) reforçada com fibras de reforço. Os corpos-de-prova (3X 5 X 50 mm) foram confeccionados e divididos em 5 grupos: (A) controle, sem fibras; (B) fibras de polietileno não-impregnadas (Ribbond); (C) fibras de vidro pré-impregnadas com monômero fotopolimerizável (FibreKor); (D) fibras de vidro pré-impregnadas em polímero (Stick) e (E) fibras de vidro pré-impregnadas em uma mistura de monômero e polímero fotopolimerizável (Everstick). As fibras foram orientadas paralelas ao longo eixo do corpo-de-prova e colocadas na resina para base de prótese no lado de compressão (n=7) ou no de tração (n=7). Os corpos-de-prova foram testados em flexão em três pontos com velocidade de 5 mm / min. A resistência à flexão do grupo controle foi de 128 ± 3 MPa. Para os corpos-de-prova onde as fibras se localizavam no lado de tração, a média de resistência à flexão para o grupo C foi de 226 ± 16 MPa e para o grupo E de $226 \pm$

4 MPa. No grupo C, seis dos 7 corpos-de-prova fraturaram em duas partes e, em 1 deles, a fratura foi contida pelas fibras. No grupo E, em seis corpos-de-prova a trinca passou através das fibras, mas não resultou em fratura e 1 corpo-de-prova fraturou em duas partes. Para o grupo B, a média de resistência à flexão foi de 151 ± 16 MPa e para o grupo D de 232 ± 26 MPa. Em todos os corpos-de-prova do grupo B a trinca passou através das fibras, mas não resultou em fratura, enquanto em 6 corpos-de-prova do grupo D a fratura foi contida pelas fibras e em 1 a trinca passou através das fibras. O aumento na resistência à flexão para o grupo B foi pequeno quando comparado com o grupo controle (sem reforço) e esse resultado foi associado à adesão interfacial não adequada. Tem sido proposto que a combinação de adesão interfacial inadequada e impregnação insatisfatória podem impedir a transferência das tensões da matriz polimérica homogênea para as fibras de reforço. Como resultado, somente diferenças pequenas foram observadas entre as amostras com e sem reforço, ou com reforço localizado em áreas de tração ou de compressão. Foi observado que fibras de reforço colocadas no lado de tração resultaram em valores consideravelmente mais altos de resistência à flexão e de módulo de flexão quando comparadas com a mesma quantidade de fibras reforço colocadas no lado compressão. Clinicamente, a utilização de reforço que permite distribuição mais uniforme das fibras poderia proporcionar método para reforçar bases de próteses mais efetivo e menos sensível à técnica que a utilização de alta quantidade de fibras, densamente prensadas, que podem ser localizadas incorretamente.

Faot et al.²³, em 2006, avaliaram a resistência ao impacto e a morfologia da fratura de resinas acrílicas para base de prótese, polimerizadas por microondas (Onda Cryl, Acron MC, Vipi Wave) e banho de água (Lucitone 550). Oitenta amostras retangulares com 65X10X2,5 mm foram confeccionadas para cada resina acrílica e armazenadas em água destilada a $37^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ por 48 ± 2 horas previamente aos testes. O teste utilizado para avaliar a resistência ao impacto foi o Charpy com uma distância entre os pontos de apoio de 65 mm e pêndulo de 3,95 J. Os materiais Lucitone 550 (0,24 J) e Onda Cryl (0,24 J) apresentaram maiores

valores de resistência ao impacto que as resinas Vipi Wave (0,19 J) e Acron MC (0,21 J). Esses resultados foram atribuídos ao fato da resina Vipi Wave ter sido processada por longo tempo a baixa temperatura. Apesar do ciclo de polimerização incluir período final de alta temperatura, a resina foi, inicialmente, processada por longo período (20 minutos) a baixa voltagem (180 W) em comparação com as outras resinas avaliadas. Entretanto, a resina Acron MC foi polimerizada a alta voltagem e curto período, que pode gerar cadeias poliméricas curtas e frágeis. A menor resistência ao impacto da resina Vipi Wave poderia também estar relacionada ao tipo e concentração de agente de ligação cruzada (dietileno glicol dimetacrilato) utilizado nesse material. A resistência ao impacto das resinas polimerizadas por energia de microondas pode variar e acordo com o período de irradiação. Independente do método de polimerização, as resinas acrílicas apresentaram alto número de fraturas friáveis.

Ainda em 2006, Ganzarolli et al.²⁶ estudaram a adaptação interna, porosidade, resistência transversal e ao impacto de três marcas de resinas para base de prótese processadas por diferentes métodos: termopolimerizável convencional (Clássico), polimerizada por microondas (Onda Cryl) e injetável (PalaXpress). Para avaliar a adaptação interna foi utilizado um modelo mestre metálico simulando maxila edêntula e a espessura das bases de prótese foi padronizada em 1 mm. A adaptação foi avaliada imediatamente após o acabamento e depois de 30 dias de armazenamento em água a 37°C, por meio da espessura do filme de silicone formado entre a resina de base e o modelo metálico. Para a análise da porosidade foram confeccionadas amostras (30X10X5 mm) que foram pesadas a seco e em 100 ml de água destilada, utilizando-se balança analítica. A porosidade foi mensurada de acordo com o princípio de Arquimedes, obtendo-se a média em cm^3 para cada resina. Para a resistência transversal e ao impacto foram confeccionadas amostras (65X10X2,5 mm) que foram armazenadas por $48 \pm 2\text{h}$ em água destilada a $37 \pm 2^\circ\text{C}$. O teste de resistência transversal foi realizado com velocidade de 5mm/min. A resistência ao impacto Charpy foi realizado com uma carga de 40 kJ/cm e distância de 40mm

entre os pontos de apoio das amostras. A resina injetável apresentou a melhor adaptação interna. A resina convencional apresentou menor porosidade que a resina injetável. A técnica de polimerização convencional utiliza maior tempo e aumentos graduais de temperatura, que previnem que a temperatura de polimerização exceda o ponto de ebulição do monômero originando os poros. A porosidade da resina polimerizada por microondas não foi diferente da observada para as outras duas resinas. Embora a resina convencional tenha exibido menor porosidade, ela também demonstrou os menores valores de resistência transversal e ao impacto. Isso pode ser explicado pelas diferentes espessuras das amostras submetidas aos testes de resistência mecânica e de porosidade, devido à variação na formação de poros em função da espessura da massa da resina. As resinas injetável e polimerizada por microondas demonstraram valores similares de resistência transversal e ao impacto. A resistência transversal está ligada à eficácia de polimerização e subsequente formação de pequenas cadeias poliméricas com baixo peso molecular. Diferente dos outros materiais testados, a resina polimerizada convencionalmente não possui agente de ligação cruzada em sua composição e apresentou os menores valores de resistência transversal e ao impacto.

Em 2006, Reis et al.⁷⁴ avaliaram o efeito do reembasamento, da ciclagem mecânica e da armazenagem em água sobre a resistência à flexão de uma resina acrílica para base de prótese (Lucitone 550- L). Os corpos-de-prova foram confeccionados a partir da confecção de barras da resina L (64x10x2 mm), reembasadas (1,3 mm) com quatro reembasadores quimicamente ativados (Kooliner-K, Ufi Gel Hard-UGH, Tokuso Rebase Fast-TR e New Truliner-NT). Além disso, foram confeccionados corpos-de-prova a partir do reembasamento com a própria resina L (L-L) e corpos-de-prova intactos da resina L. Quarenta corpos-de-prova (64x10x3,3 mm) foram confeccionados para cada combinação entre os materiais e divididos em quatro grupos (n=10). Os corpos-de-prova foram submetidos aos testes de flexão nas seguintes condições: após polimerização (G1); após armazenagem em água destilada a $37\pm 1^\circ\text{C}$ por 30 dias (G2); após ciclagem

mecânica flexural de 10.000 ciclos com frequência de 5Hz (G3) e após armazenagem em água a 37°C por 30 dias, seguida de ciclagem mecânica (G4). Os testes de flexão em três pontos foram realizados (5mm/min; span= 50mm) e a resistência à flexão (MPa) foi calculada na força máxima de ruptura (R_M) e no limite de proporcionalidade (R_P). Aumento significativo da R_M das amostras L-UGH (50,64 MPa) e L-TR (57,36 MPa) foi observado após armazenagem em água. Foi observado, ainda, que a armazenagem em água aumentou significativamente a R_P somente da combinação L-TR (24,21 MPa). A combinação L-L produziu os maiores valores de R_M e R_P , seguida pelo material L intacto. Após armazenagem em água, a combinação L-TR exibiu maiores valores de R_M e R_P que as amostras L-K, L-UGH e L-NT.

Ainda em 2006, Seo et al.⁷⁷ determinaram a carga máxima de fratura (MFL), a deflexão (DAF) e a energia de fratura (FE) de próteses intactas e reembasadas sob condições de ciclagem mecânica e térmica. Para isso, foram utilizadas duas resinas autopolimerizáveis, Tokuyama Rebase Fast II e New Truliner, e 1 polimerizada por microondas, Acron MC. Foi utilizado um modelo padrão metálico simulando arco edêntulo maxilar que foi moldado com vinil polisiloxano, obtendo-se modelos sobre os quais foram confeccionadas as bases de próteses intactas (3 mm) ou reembasadas (2 mm resina termopolimerizável e 1 mm de material reembasador). Previamente ao reembasamento, as superfícies internas das bases foram limpas, secas e tratadas de acordo com as orientações dos fabricantes dos materiais reembasadores. As amostras (intactas e reembasadas) foram, então, divididas em 4 grupos (n=7): sem ciclagem (controle); ciclagem mecânica – amostras submetidas a 10.000 ciclos com a carga máxima de 150N e mínima de 1N, com frequência de 0,8Hz, estando imersas em água destilada a 37°C; ciclagem térmica – amostras submetidas a 5.000 ciclos entre 5°C e 55°C; ciclagem térmica seguida de ciclagem mecânica. Os testes de flexão foram realizados aplicando-se carga na superfície interna das bases, na região de pré-molares e 1° molar, até a fratura. As bases do grupo controle reembasadas com New Truliner apresentaram menores valores de MFL e FE do que as reembasadas

com Tokuyama Rebase II. Essa diferença pode ter ocorrido pela diferença de composição desses materiais, visto que a Tokuyama Rebase II apresenta agentes de ligação cruzada, que melhora suas propriedades mecânicas, e a resina New Truliner, um monômero monofuncional sem ligação cruzada. A ciclagem térmica diminuiu significativamente a MFL das bases reembasadas com Tokuyama Rebase Fast II. Embora as bases reembasadas com a resina New Truliner não tenham apresentado nenhuma alteração significativa com a ciclagem térmica, é importante enfatizar que esse material apresentou baixa resistência. A MFL e a FE das bases intactas também foram significativamente menores após a ciclagem térmica. A ciclagem mecânica diminuiu a MFL, a FR e DAF para as amostras intactas e reembasadas com Tokuyama Rebase II. A ciclagem mecânica gera pequenas falhas em áreas de concentração de tensões que podem resultar em propagação de micro trincas. A utilização de agentes de ligação cruzada pode ter resultado em menor plasticidade do polímero, reduzindo, dessa forma, sua resistência à propagação de trincas de fadiga. A resina New Truliner não se alterou após a ciclagem mecânica, fato que pode ter sido relacionado à maior flexibilidade do polímero devido à presença de plastificante em seu líquido. A ciclagem térmica e mecânica exerceu efeitos deletérios na resistência das bases das próteses intactas e/ou reembasadas, que variou de acordo com o material utilizado no reembasamento.

Dogan, et al.¹⁹, em 2007, avaliaram a resistência ao impacto de uma resina de base convencional (Meliodent) quando reforçada com diferentes tipos de fibras (E-glass, poliéster, rayon, nylon 6 e nylon 6/6). As fibras foram cortadas em três comprimentos: 2, 4 e 6 mm sem qualquer tratamento de superfície. O reforço foi adicionado ao pó na quantidade de 3% em massa. Cinco corpos-de-prova (55 x 10 x 10 mm), para cada comprimento de fibra, foram preparados com um entalhe em forma de V com 2mm de largura e 2,54mm de profundidade. As resinas foram polimerizadas em água a 70°C por uma hora, seguida de água em ebulição por 30 minutos. O teste de impacto utilizado foi o Charpy. Uma força de 12 J foi aplicada nas amostras no lado não entalhado. As superfícies fraturadas pelo impacto dos

corpos-de-prova reforçados com 6 mm de comprimento de fibra, foram avaliadas por microscopia eletrônica de varredura. O maior valor encontrado foi do grupo reforçado com a fibra ryon e comprimento de 6 mm. (0,90 J). Para o grupo controle, o valor médio de resistência ao impacto foi de 0,33 J. De modo geral, os grupos reforçados com fibras apresentaram melhora na resistência ao impacto em relação ao grupo controle. Para os corpos-de-prova reforçados com fibras com comprimento de 2 mm, a fibra E-glass apresentou os maiores valores de resistência ao impacto em relação aos demais. Os outros tipos de fibra não apresentaram diferenças entre si. No caso das fibras com 4 mm, um aumento significativo foi encontrado para as fibras ryon e E-glass que foram estatisticamente diferentes do grupo controle. Para os corpos-de-prova com reforço de 6 mm, houve diferença significante entre as amostras reforçadas com nylon 6 e nylon 6/6; entre nylon 6/6 e E-glass; entre ryon e poliéster; entre ryon e nylon 6/6. Com exceção do E-glass, o aumento do comprimento da fibra aumentou a resistência ao impacto.

Radzi et al.⁷², também em 2007, avaliaram a resistência ao impacto de um novo polímero experimental à base de poliuretano. Dez corpos-de-prova de cada material (Eclipse, Meliodent termopolimerizável, Meliodent Rapid Repair e polímero experimental à base de poliuretano) foram confeccionados e polidos até as dimensões de 64 X 6 X 4 mm. Um entalhe em forma de V foi confeccionado a uma profundidade de 0,8 mm na região referente à largura, ficando abaixo 3,2 mm de material. As amostras foram imersas em água por 48 ± 2 horas a 37°C antes dos testes de impacto Charpy. A resina Eclipse apresentou os maiores valores de resistência ao impacto ($2,73 \text{ kJ/m}^2 \pm 0,54$) seguida pela Meliodent Rapid Repair ($2,50 \text{ kJ/m}^2 \pm 0,65$), Meliodent termopolimerizável ($1,96 \text{ kJ/m}^2 \pm 0,42$) e pelo polímero experimental à base de poliuretano ($1,04 \text{ kJ/m}^2 \pm 0,29$). Os autores concluíram que a resina Eclipse apresentou os maiores valores de resistência ao impacto entre todos os materiais testados, entretanto, não houve diferença estatisticamente significante entre esse material e as resinas Meliodent Rapid Repair e Meliodent termopolimerizável. O polímero experimental à base de

poliuretano apresentou média de resistência ao impacto menor, estatisticamente significativa, do que todos os outros materiais testados.

Ainda em 2007, Unalan, Dikbas⁸⁵ procuraram melhorar a dureza superficial da resina de PMMA para dentes artificiais de próteses, adicionando mica e fibra de vidro. Quatro diferentes concentrações de mica silanizado e fibra de vidro moída (5%, 10%, 15% e 20%) foram empregadas. Foram obtidos um grupo controle e 8 grupos testes. Os corpos-de-prova foram confeccionados com uma proporção de 20 g de pó para 10 ml de líquido. Para incorporar a mica no PMMA, a proporção pó/líquido foi alterada para 20 g/ 14 ml, para a melhor impregnação da mica. Para os grupos com adição de fibra de vidro não foi necessário alterar a proporção pó/ líquido. Para a modificação do PMMA, o peso total de pó e líquido foram calculados e 5%, 10%, 15% e 20% foram substituídos por mica ou fibra de vidro. A massa de resina acrílica foi então, incluída em mufla e polimerizada a 175°C sob uma pressão de 160 bar por 3 minutos. Todos os corpos-de-prova foram armazenados em água a 37°C uma semana antes dos testes de dureza (Shore D). Os valores de dureza no diferentes grupos contendo mica foram estatisticamente diferentes do grupo controle, exceto para a concentração de 20%. Os mesmos resultados foram obtidos para os grupos contendo reforço de fibra de vidro. Não houve diferença estatisticamente significativa entre as mesmas porcentagens de adição de mica ou de fibra de vidro.

No mesmo ano, Yilmaz, Korkmaz⁹⁹ analisaram os valores de fratura toughness quando três diferentes partículas de reforço (Al_2O_3 , fibra de vidro e wollastonita) foram misturadas como reforço a duas resinas para confecção de restaurações provisórias (Dentalon Plus e Temdent). Diferentes concentrações de nanopartículas de Al_2O_3 (1%, 2% e 3% em massa), fibra de vidro (10%, 20% e 30% em massa) e wollastonite (10%, 20% e 30% em massa) foram misturadas com as resinas acrílicas. Dez corpos-de-prova de cada grupo foram confeccionados e imersos em água a 37°C por 24 horas antes dos testes para fratura “toughness”. Para o material Dentalon Plus (PEMA), houve diferença

significante entre o grupo controle e os 3 materiais de reforço. No grupo com adição de Al_2O_3 , a maior média foi obtida com a adição de 2%. Para os outros grupos, não houve diferenças estatísticas significantes. Houve diferenças significantes entre todos os grupos com adição de fibra de vidro e a adição de 30% proporcionou a maior média de resistência à fratura. A adição de 20% de wollastonita resultou no maior valor médio de resistência “toughness”. Para a resina Temdent (PMMA), houve diferença significativa entre o grupo controle e os 3 materiais de reforço. Não houve diferença estatística significativa entre os grupos com a adição de Al_2O_3 . Houve diferença estatisticamente significativa entre todos os grupos com adição de fibra de vidro e a adição de 30% dessa fibra apresentou o maior valor médio de resistência “toughness”. Para os grupos reforçados com wollastonita, os grupos com 20% e 30% não apresentaram diferenças entre si e foram maiores do que aquele com 10%. Entre os materiais testados, o PMMA apresentou vantagens sobre o PEMA. O uso de reforço é um método efetivo para aumentar a resistência “toughness” de restaurações provisórias de resina. A utilização de fibra de vidro e wollastonita são promissores para o reforço de materiais provisórios, considerando-se que sua incorporação não requer aumento significativo no tempo e custo do tratamento.

Perez et al.⁶⁶, em 2009, avaliaram o efeito do reembasamento e do tratamento de superfície na resistência ao impacto de uma resina termopolimerizável para base de prótese. Nesse estudo foi utilizada a resina termopolimerizável Lucitone 550 (L) e duas resinas autopolimerizáveis para reembasamento imediato (Tokuso Rebase Fast TR; e Ufi Gel Hard - UH). Para a confecção dos corpos-de-prova reembasados, barras de Lucitone 550 de 60 X 6 X 2mm foram obtidas pela polimerização em banho de água a 73° C por 90 minutos mais 30 minutos em água em ebulição. A superfície de união era tratada com adesivos fornecidos pelos fabricantes das resinas autopolimerizáveis ou com monômero da resina de base por 180 segundos seguido de aplicação desses adesivos. As barras de resina de base eram então reembasadas com 2 mm de material reembasador (Tokuso Rebase Fast ou Ufi Gel Hard). Para os corpos-de-

prova reembasados com a própria resina de base a superfície de união foi tratada com monômero da resina de base por 180 segundos ou não recebeu nenhum tipo de tratamento. Corpos-de-prova da resina de base e das resinas para reembasamento também foram confeccionados puros. Entalhes de 0,8 mm na largura ou na espessura foram confeccionados. O teste Charpy foi realizado por um pêndulo de 0,5 J. A força foi aplicada no lado onde não foi confeccionado o entalhe. Quando o entalhe foi confeccionado na largura do corpo-de-prova a resina de base L reembasada com TR apenas com a aplicação do adesivo do fabricante apresentou o maior valor médio de resistência ao impacto. A média de resistência ao impacto da resina L reembasada com o material TR e o tratada com monômero seguido pelo adesivo do material não apresentou diferença estatística em relação a TR puro. Para o material UH não houve diferença estatisticamente significativa entre as médias de resistência ao impacto dos corpos-de-prova testados puros ou reembasados, independente do tratamento da superfície de união. A média de resistência ao impacto de L foi igual à média dos corpos-de-prova reembasados com L, independente do tratamento de superfície. As médias de resistência ao impacto de UH e TR foram iguais entre si e estatisticamente menores do que a média de L. Quando o entalhe foi confeccionado na espessura, para o material TR não houve diferença estatisticamente significativa entre o material puro ou reembasado, independente do tratamento da superfície de união. Para o reembasamento com a resina UH não houve diferença estatisticamente significativa, independente do reembasamento. Não houve diferença estatisticamente significativa entre a média dos corpos-de-prova da resina L com o reembasamento com a mesma resina, independente do tratamento de superfície. UH e TR foram iguais entre si e estatisticamente menores do que L. O tipo de material reembasador e o tratamento da superfície de união podem influenciar significativamente na resistência ao impacto das próteses reembasadas. O maior valor médio de resistência ao impacto foi observado com o reembasamento com a resina TR quando o tratamento da superfície de união foi apenas a aplicação de seu adesivo. A resistência ao impacto da resina para base de prótese termopolimerizável foi mantida quando reembasada por ela mesma.

Proposição

3 Proposição

O objetivo deste estudo foi avaliar, comparativamente, a resistência ao impacto, por meio dos testes Charpy e queda livre de dardo, de duas resinas termopolimerizáveis para base de prótese e duas resinas para reembasamento imediato. Foi analisado, ainda, o efeito da incorporação de reforço e da ciclagem mecânica sobre essa propriedade. Complementando essas informações, a resistência ao impacto das combinações entre as resinas de base com os mesmos materiais e com cada um dos materiais reembasadores foram também avaliadas, nas mesmas condições experimentais. A correlação entre os dois testes também foi avaliada.

Material e

Método

4 Material e Método

4.1 Materiais

- Água destilada
- Catalisador Silastic 81 (D'ALtomare Química, Santo Amaro, SP, Brasil);
- Cera nº 7 Wilson (Polidental Indústria e Comércio Ltda, São Paulo, SP, Brasil);
- Cola em bastão (Faber Castell, São Paulo, SP, Brasil);
- Dentes artificiais anteriores superiores VIPI Dent Plus modelo 3D (VIPI, Pirassununga, SP, Brasil);
- Dentes artificiais posteriores superiores VIPI Dent Plus modelo 30M (VIPI, Pirassununga, SP, Brasil);
- Detergente neutro Limpol ® (Bombril-Cirio, São Paulo, SP, Brasil);
- Gesso pedra tipo III Herodent (Vigodent S.A. Ind. Comércio, Bonsucesso, RJ, Brasil);
- Gesso pedra melhorado tipo IV (Polidental Indústria e Comércio Ltda, São Paulo, SP, Brasil);
- Isolante à base de alginato para resinas acrílicas VIPI Film (VIPI, Pirassununga, SP, Brasil);
- Folha de acetato (Sercopel, São Paulo, SP, Brasil);
- Lâmina para microscopia (Perfecta Ind. e Com. Ltda., São Paulo, SP, Brasil);
- Lixa d'água com granulação 240 (3M do Brasil, Ribeirão Preto, SP, Brasil);
- Lixa d'água com granulação 400 (3M do Brasil, Ribeirão Preto, SP, Brasil);
- Recipientes plásticos com tampa;
- Resina acrílica autopolimerizável **Tokuyama Rebase II** (Tokuyama Company, Ltd., Tóquio, Japão) - lote UF65886;
- Resina acrílica autopolimerizável **Ufi Gel Hard** (Voco, Cuxhaven, Alemanha) - lote 631742;

- Resina acrílica termopolimerizável **Lucitone 550** (Dentsply Indústria e Comércio Ltda, Petrópolis, RJ, Brasil) –lote P379209 e L510862;
- Resina acrílica polimerizada por microondas **VIPI Wave** (VIPI, Pirassununga, SP, Brasil) – lote P75643 e L70945
- Silicone de condensação Gel catalisador Indurent (Zhermack – Badia Polesine – Rovigo - Itália);
- Silicone RTV 3120 (Dow Corning, Midland, MI, Estados Unidos);
- Silicone de condensação Zetaplus consistência densa (Zhermack - Badia Polesine - Rovigo - Itália);
- Vaselina sólida (Labsynth Produtos para Laboratórios Ltda, Diadema, SP, Brasil).

4.2 Aparelhos

- Aquecedor de 100 W (Master, Indústria de equipamentos para piscicultura, São Paulo, Brasil);
- Balança digital modelo BL 210S - precisão de 0,0001 g (Sartorius, Göttingen, Alemanha);
- Cuba para espatulação a vácuo (EDG Equipamentos, São Carlos, SP, Brasil);
- Fresa entalhadora modelo Notchvis (Ceast, Pianezza, Itália);
- Espatulador a vácuo TurboMix (EDG Equipamentos, São Carlos, SP, Brasil);
- Estufa de cultura 502 Orion (Fanem Ltda, São Paulo, SP, Brasil);
- Máquina de ensaio mecânico MTS 810 (Material Test System, Eden Prairie, MN, EUA)

Programas: Test Star II e Test Work 4

Programa de controle: Gerenciador de função;

- Máquina de queda livre de dardo DT3P (DSM Instrumentação Científica Ltda, São Paulo, SP, Brasil)
- Máquina de Resistência ao Impacto modelo RESIL 25R (Ceast, Pianezza, Itália);
- Máquina para polimento metalográfico Metaserv 2000 (model 95-2829, Buehler UK Ltd., Coventry, Inglaterra);
- Medidor de profundidade (Ceast, Pianezza, Itália);
- Micromotor odontológico LB 2000 (Beltec, Araraquara, SP, Brasil)
- Paquímetro digital, modelo 500-144B (Mitutoyo Sul América Ltda; Suzano, SP, Brasil);
- Microondas de dupla emissão de ondas (Brastemp, Manaus, AM, Brasil).
- Prensa hidráulica (Vipi Delta, Pirassununga, São Paulo, Brasil);
- Termopolimerizadora automática Solab (Solab Equipamentos para laboratórios Ltda, Piracicaba, SP, Brasil);
- Vibrador para gesso (EDG Equipamentos e Controle Ltda, São Paulo, SP, Brasil).
- Termostato (Hai Feng Feeds CO., Nangang Industrial Park, Nantou, Taiwan).

4.3 Instrumentos

- Buril de Lecron n°5 (SS White, Rio de Janeiro, RJ, Brasil);
- Escova dental Tek dura (Johnson & Johnson Comércio e Distribuição Ltda, São Paulo, SP, Brasil);
- Espátula n° 36 Duflex (SS White, Rio de Janeiro, RJ, Brasil);
- Espátula para gesso de inox, com cabo de madeira (Jon Comércio de Produtos Odontológicos Ltda, São Paulo, SP, Brasil);
- Fresa esférica n°2 (Vortex Produtos Odontológicos, São Paulo, SP, Brasil);
- Fresa MAXICUT (Vortex Produtos Odontológicos, São Paulo, SP, Brasil);

- Gral de borracha (JON Comércio de Produtos Odontológicos Ltda, São Paulo, SP, Brasil);
- Matriz retangular em aço inoxidável vazada com 60 mm de comprimento x 2 mm de altura x 6 mm de largura;
- Matriz retangular em aço inoxidável vazada com 60 mm de comprimento x 4 mm de altura x 6 mm de largura;
- Modelo padrão metálico que representa um arco superior totalmente desdentado;
- Mufla nº 6 (OGP Produtos Odontológicos, São Paulo, SP, Brasil);
- Mufla para microondas VIPI STG (VIPI, Pirassununga, SP, Brasil);
- Pincel nº 175 (Tigre S/A, Osasco, SP, Brasil);
- Pipeta graduada 1/100 (Satelit, Araraquara, SP, Brasil);
- Placa de vidro para espatulação;
- Pote de vidro com tampa (Jon Comércio de Produtos Odontológicos Ltda, São Paulo, SP, Brasil);
- Prensa manual para termopolimerização (OGP Produtos Odontológicos, São Paulo, SP, Brasil);
- Seringa hipodérmica;
- Sonda periodontal milimetrada Duflex (SS White, Rio de Janeiro, RJ, Brasil).

Métodos

Os materiais selecionados para este estudo estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Materiais utilizados e especificações dos fabricantes

Resina	Sigla	Proporção pó/líquido	Tipo	Ciclo de polimerização
Lucitone 550	L	2,1g/1,0ml	Termopolimerizável	Em água: 90 minutos a 73°C e 30 minutos a 100°C 10% de Potência ou potência média baixa por 20 minutos e 30
Vipi Wave	V	2,15g/1,0ml	Polimerizada por microondas	a 40% de potência ou potência média baixa ou média por 5 minutos
Ufi Gel Hard	U	2,12g/1,2ml	Autopolimerizável	8,5 minutos a temperatura ambiente
Tokuyama Rebase II	T	2,4g/1,0ml	Autopolimerizável	5,5 minutos a temperatura ambiente

Os materiais Ufi Gel Hard (Figura 1) e Tokuyama Rebase II (Figura 2) são resinas acrílicas autopolimerizáveis indicadas para reembasamento do tipo imediato. A resina Lucitone 550 (Figura 3) é uma resina do tipo termopolimerizável convencional e a resina Vipi Wave (Figura 4) polimerizada por microondas. Essas foram utilizadas tanto na confecção de bases de próteses como também para a realização do reembasamento do tipo mediato.



FIGURA 1 – Reembasador Ufi Gel Hard.



FIGURA 2 - Reembasador Tokuyama Rebase II.



FIGURA 3 – Resina para base de prótese Lucitone 550.



FIGURA 4 – Resina para base de prótese polimerizada por energia de microondas Vipi Wave

➤ **Resistência ao Impacto – Teste Charpy**

O teste Charpy, selecionado para o presente estudo, tem sido amplamente utilizado por outros autores^{13,19, 23, 26, 28, 33, 35, 36, 52, 53, 55, 66, 87, 88, 100}.

a) Obtenção dos corpos-de-prova dos materiais puros ou isolados

Para a análise da resistência ao impacto dos materiais isoladamente, foram confeccionados 20 corpos-de-prova de cada resina, utilizando-se matriz metálica com cavidade interna de 60 mm de comprimento, 6 mm de largura e 4 mm de espessura. A matriz, confeccionada por um torneiro mecânico, apresentava, ainda, um sulco lateral de escape unindo a cavidade interna à parte externa da matriz, para permitir o extravasamento de excessos de material durante a confecção dos corpos-de-prova (Figura 5). Para a confecção dos corpos-de-prova das resinas L e V, inicialmente, a cavidade interna da matriz foi isolada e preenchida com silicone de condensação, sendo o conjunto matriz/silicone mantido sob pressão, durante a polimerização do material, entre duas placas de vidro recobertas com folhas de acetato (Figura 6). Em seguida, os padrões em silicone obtidos (60X6X4mm) foram incluídos em gesso tipo IV, utilizando-se muflas metálicas (resina L) e muflas específicas para microondas (resina V) (Figura 7).

Após a presa do gesso, as muflas eram abertas e os padrões de silicone eram removidos, obtendo-se os moldes para a confecção dos corpos-de-prova da resina termopolimerizável convencional L e polimerizada por microondas V (Figura 8).



FIGURA 5 – Matriz com cavidade interna de 60X6X4 mm.



FIGURA 6 – Obtenção do padrão de silicone.



FIGURA 7 – Padrão incluído em mufla.

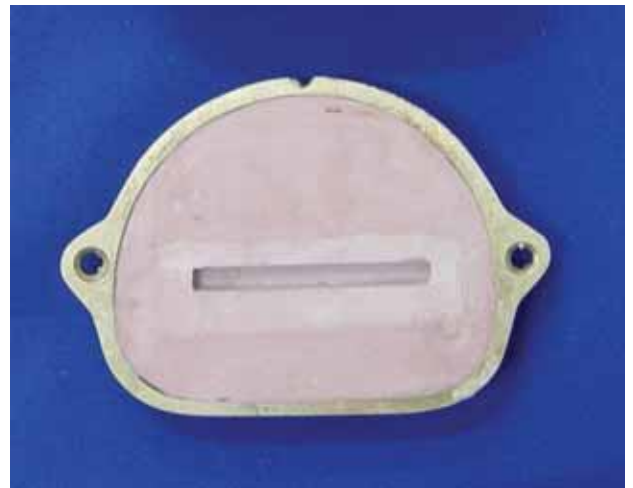


FIGURA 8 – Molde para confecção dos corpos-de-prova.

Os materiais L e V foram, então, proporcionados de acordo com as instruções de cada fabricante, sendo o pó pesado em balança de precisão e o líquido mensurado em pipeta graduada. Em seguida, as resinas foram manipuladas em um pote de vidro por

30 segundos, aguardando-se a fase plástica, e os moldes obtidos foram, então, preenchidos utilizando-se uma espátula 36. As muflas foram fechadas e levadas à prensa hidráulica sob carga de 1,25 ton. para a resina L, onde permaneciam por 30 minutos, e de 1 ton. para a resina V, onde permaneciam por 20 minutos. Após a prensagem inicial, as muflas metálicas (resina L) eram transferidas para prensas manuais e as específicas para microondas (resina V) parafusadas. Em seguida, era iniciado o ciclo de polimerização, realizado sob compressão, em banho de água, para a resina termopolimerizável convencional L e, em microondas, para a resina V, polimerizada por esse método (Tabela 1).

Ao final do ciclo de polimerização, foi realizado o resfriamento em temperatura ambiente por 30 minutos, quando, então, as muflas foram imersas em água corrente por 15 minutos, sendo, posteriormente, abertas para a remoção dos corpos-de-prova. Em seguida, para a remoção dos excessos laterais, os corpos-de-prova foram submetidos ao acabamento sob constante irrigação, em politriz automática, com lixa de carbetto de silício de granulação 400. Após a realização desse procedimento, os corpos-de-prova foram mensurados em três pontos, utilizando-se um paquímetro digital, para verificação de sua largura e espessura. A seguir, os corpos-de-prova foram armazenados, em água destilada, a 37°C por 48 ± 2 horas³².

Para a confecção dos corpos-de-prova puros das resinas autopolimerizáveis Ufi Gel Hard e Tokuyama Rebase II, a matriz metálica foi isolada com vaselina e posicionada sobre placa de vidro recoberta com folha de acetato. A seguir, as resinas, proporcionadas e manipuladas de acordo com as instruções dos fabricantes (Tabela 1), foram inseridas na cavidade interna da matriz e recobertas com folha de acetato. Uma outra placa de vidro foi, então, posicionada sobre a matriz e esse conjunto foi levado a uma prensa hidráulica a uma carga de 0,5 ton., onde foi mantido até a polimerização final do material. Em seguida, os corpos-de-prova foram submetidos ao acabamento e mensurados como descrito anteriormente.

b) Obtenção dos corpos-de-prova reembasados

Utilizando-se matriz metálica com cavidade interna de 60 mm de comprimento, 6 mm de largura, porém com 2 mm de altura (Figura 9), foram obtidas, inicialmente, 60

barras com cada uma das resinas L e V, seguindo-se os mesmos procedimentos descritos.

Após a armazenagem em água (37°C; 48 ± 2 horas)³², as superfícies de união foram submetidas ao acabamento, em politriz automática com lixas de carbetto de silício de granulação 240⁸³ para a padronização da topografia dessas superfícies. Esse procedimento foi realizado utilizando-se o tempo de 10 segundos para cada meia volta, num total de 40 segundos por barra, e a velocidade controlada de 350 rpm. A seguir, as superfícies eram limpas com escova e detergente durante 20 segundos.

Vinte barras de cada resina foram reembasadas com o mesmo material (L/L; V/V). Das 40 barras restantes de cada resina, 20 foram reembasadas com a resina Ufi Gel Hard (L/U; V/U) e vinte com a resina Tokuyama Rebase II (L/T; V/T).

Para a obtenção dos corpos-de-prova reembasados com as resinas L e V, inicialmente, padrões de silicone com 60X6X4 mm foram obtidos e incluídos em gesso, utilizando-se muflas metálicas ou específicas para microondas. Após a presa do gesso, as muflas foram abertas, os padrões removidos, obtendo-se, dessa forma, moldes com 4 mm de espessura. A seguir, as barras da resina L ou da resina V, com 2 mm de espessura, previamente submetidas ao acabamento e mensuradas. Após a limpeza, foram posicionadas no interior dos moldes e os 2 mm restantes foram preenchidos com o mesmo material (L ou V). A polimerização foi, então, realizada seguindo-se as recomendações dos fabricantes (Tabela 1).

Para o reembasamento com as resinas autopolimerizáveis, as barras de 2 mm de espessura das resinas L ou V foram colocadas na cavidade interna da matriz metálica com 4 mm de altura, devidamente isolada e posicionada sobre placa de vidro recoberta com lâmina de acetato. A superfície de união, preparada e limpa, foi tratada de acordo com as recomendações dos respectivos fabricantes (Figura 10), aplicando-se uma camada de adesivo próprio. Quando a camada de adesivo estava seca, os materiais reembasadores U e T foram inseridos na matriz (Figura 11) e recobertos com lâmina de acetato. Outra placa de vidro foi posicionada sobre o material e o conjunto foi levado à prensa hidráulica sob carga de 0,5 ton., até a polimerização final para obtenção dos corpos-de-prova (Figura 12).



FIGURA 9 - Matriz com cavidade interna de 60X6X2.



FIGURA 10 - Tratamento da superfície de união com adesivo.



FIGURA 11 - Material reembasador sendo inserido na matriz.

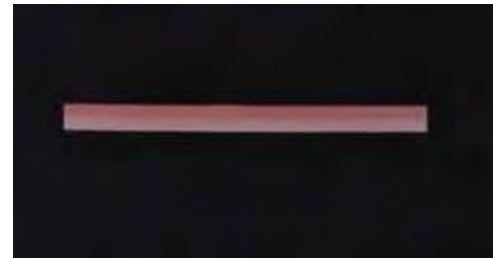


Figura 12 - Corpo-de-prova reembasado.

c) Adição de Reforço

Para avaliar o efeito da incorporação de reforço de vidro na resistência ao impacto das resinas para reembasamento imediato, foram confeccionados 20 corpos-de-prova isolados ou puros (60X6X4mm) de cada material (U e T). O reforço utilizado apresenta-se em forma de flocos de vidro (“Glass Flake” LTD, Leeds, UK), com espessura de 2,3 a 3,3 μm , e foi adicionado ao pó das resinas para reembasamento

imediatamente U e T, na quantidade de 5% em massa²⁴. Para isso, 5% da massa de pó das resinas acrílicas autopolimerizáveis foi substituído pelo reforço Glass Flake. Após a adição do reforço, o pó foi misturado ao líquido e, a seguir, a manipulação e a polimerização foram realizadas de acordo com as recomendações dos fabricantes (Tabela 1). O efeito da adição de reforço na resistência ao impacto de amostras reembasadas também foi avaliado. Para isso, foram confeccionados 20 corpos-de-prova de cada combinação resina de base/material reembasador (L/U; L/T; V/U; V/T). Nos corpos-de-prova reembasados, o reforço foi incorporado somente nas resinas para reembasamento imediato.

d) Ciclagem Mecânica

Metade dos 320 corpos-de-prova obtidos (puros ou reembasados, com ou sem reforço nas resinas U e T) foi submetida à ciclagem mecânica, previamente ao teste de impacto. Essa ciclagem foi realizada com os corpos-de-prova imersos em água destilada a $37 \pm 0,5^\circ\text{C}$ ^{74,77}. Para isso, foi utilizado um recipiente com base metálica e paredes em vidro ($17 \times 13 \times 9,0 \text{ cm}^3$), tendo sido acoplado um aquecedor de 100 W (Figura 13) ligado a um termostato com tolerância na célula de temperatura de aproximadamente $0,5^\circ\text{C}$ (Figura 14).

Os corpos-de-prova foram posicionados na máquina de ensaios apoiados em dois pontos, e um terceiro ponto fixo aplicou, de maneira cíclica, a força no centro do corpo-de-prova, em sentido contrário aos apoios (Figura 15). A máquina foi calibrada para realizar 10.000 ciclos de flexão constantes, com frequência de 5 Hz^{18, 54, 74} e velocidade de rampa inicial de 10 N/segundo. Os ensaios mecânicos de ciclagem foram realizados por meio de uma função do tipo senóide. A força utilizada para a ciclagem mecânica dos corpos-de-prova foi obtida a partir de testes estáticos de resistência a flexão. Para isso, foram confeccionados corpos-de-prova adicionais de cada material. A partir desses testes, foram obtidos os valores (em Newtons – Tabelas 1 e 2 do Apêndice) no limite de proporcionalidade, os quais foram utilizados para a ciclagem.



FIGURA 13 – Aquecedor.



FIGURA 14 – Termostato.

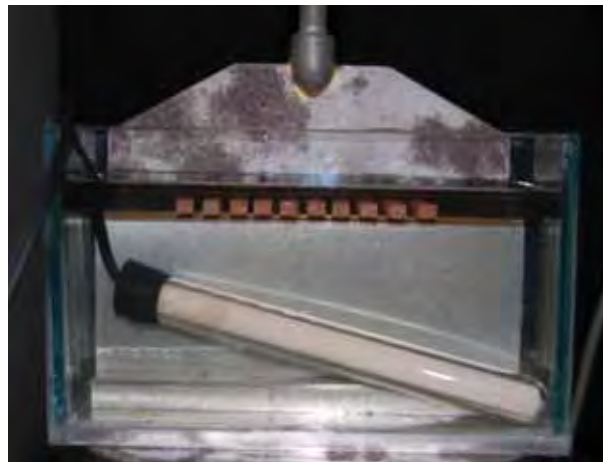


FIGURA 15 – Ciclagem dos corpos-de-prova.

e) Entalhe dos corpos-de-prova

Após a confecção dos corpos-de-prova, um entalhe foi realizado na região central dos corpos-de-prova, perpendicular ao comprimento^{13, 29, 33, 35, 36, 71, 88, 91, 100} utilizando-se o entalhador CEAST (Figura 16) com velocidade mínima. Esse procedimento foi realizado para simular os alívios realizados para os freios, labial e laterais, usualmente presentes nas bases das próteses⁹¹, assim como para concentrar as tensões e eliminar o efeito de defeitos superficiais dos corpos-de-prova^{33, 35, 36}. O entalhe foi realizado com profundidade de 0,8 mm na largura, ou seja, na superfície

correspondente ao material reembasador nos corpos-de-prova reembasados⁶⁶, permanecendo, ainda, 3,2 mm de espessura do corpo-de-prova^{13, 29, 33, 35, 36}.

f) Ensaio Mecânico de resistência ao impacto - Teste Charpy

Os testes de resistência ao impacto do tipo Charpy foram realizados no Departamento de Engenharia de Materiais, DEMa, da Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, sob a supervisão do Prof. Dr. Sebastião V. Canevarolo Jr., que foi co-orientador desta pesquisa. Esse tipo de teste mede a energia absorvida pelo corpo-de-prova durante a fratura.

De acordo com as normas para o teste de impacto tipo Charpy, o pêndulo foi liberado de seu ponto de repouso sem o corpo-de-prova estar posicionado, medindo-se, assim, a energia residual (energia do atrito da engrenagem e resistência do ar sobre o pêndulo) para que essa energia não interferisse no resultado final (Figura 17). Esse procedimento foi realizado três vezes, obtendo-se a média das energias mensuradas. O corpo-de-prova foi, então, apoiado horizontalmente sobre os apoios do aparelho, distantes entre si 50 mm, com o entalhe posicionado corretamente no trajeto realizado pelo pêndulo (Figura 18). O pêndulo, quando em posição de repouso, forma um ângulo de 150° com o corpo-de-prova. Uma força de 0,5 J^{44, 66, 91, 100} foi, então, aplicada pelo pêndulo na região central do corpo-de-prova, do lado oposto ao entalhe^{87, 88}, sendo que a energia absorvida pelo corpo-de-prova, durante sua fratura, foi obtida por meio da diferença de energia antes e após a fratura. Tal valor foi fornecido pelo aparelho. No momento do impacto a velocidade do pêndulo era de 2,9 m/s³¹.

A resistência ao impacto dos corpos-de-prova em kJ/m² foi, então, calculada utilizando-se a seguinte fórmula:

$$\mathbf{R.I.} = \frac{\mathbf{E}}{\mathbf{L} \cdot \mathbf{e}}$$

sendo **R.I.** a resistência ao impacto em kJ/m², **E** a energia absorvida pelo corpo-de-prova, **L** a largura e **e** a espessura de material intacto abaixo do entalhe.



Figura 16 – Entalhador CEAST



FIGURA 17 - Máquina de Resistência ao Impacto com pêndulo em seu ponto de repouso formando com o corpo-de-prova uma ângulo de 150° .

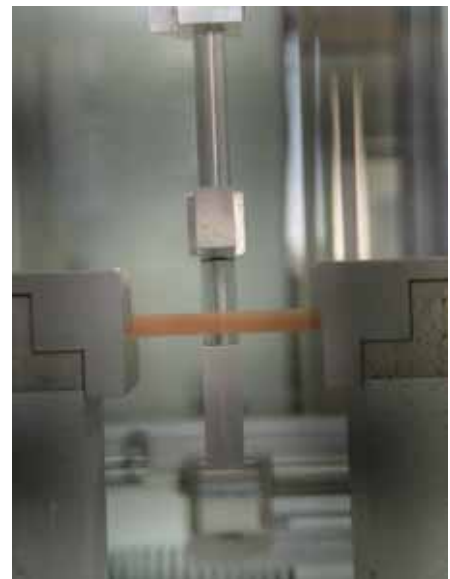


FIGURA 18 - Entalhe posicionado no trajeto do pêndulo. Força aplicada no lado oposto ao entalhe.

➤ Resistência ao impacto - Queda Livre de Dardo

O teste de queda livre de dardo foi realizado utilizando-se corpos-de-prova com forma e dimensões similares às de uma prótese total superior. Para isso, foi utilizado

um modelo padrão metálico que representa um arco superior totalmente desdentado com debrum. Esse debrum foi necessário para que a espessura de cera fosse constante durante o enceramento das próteses, tanto de 4mm quanto de 2 mm, visto que esse possibilita espaço uniforme entre o modelo de gesso e o molde.

a) Próteses intactas

a.1) Confeção dos modelos de gesso

Inicialmente, o modelo padrão metálico (Figura 19) foi moldado utilizando-se silicone industrial RTV. O material foi pesado e 5% de sua massa foi retirado para adição do catalisador. O silicone foi manipulado em gral de borracha com espátula para gesso, vertido sobre o modelo, envolvido por um dique de cera utilidade, permanecendo em repouso por 24 horas até a sua reação final. Dessa maneira, foi obtido um molde (Figura 20) que foi utilizado na confecção de modelos de gesso, com forma e dimensões padronizadas. O gesso tipo IV foi proporcionado de acordo com as instruções do fabricante e espatulado a vácuo por 60 segundos (Figura 21). Em seguida, o gesso foi vertido sobre o molde de RTV, sob vibração constante. Após 40 minutos, o modelo foi retirado do molde (Figura 22).

a.2) Confeção das próteses

Duas lâminas de cera nº 7, com 2 mm de espessura cada, foram aquecidas e acomodadas sobre o modelo padrão metálico^{9, 77}. A uniformidade da espessura da cera foi conferida com o auxílio de uma sonda periodontal milimetrada em toda a extensão da matriz. Em seguida, foram montados dentes artificiais (Figura 23) e, após sua fixação, a espessura da matriz em cera foi novamente mensurada para verificar a uniformidade. A prótese total encerada, devidamente posicionada sobre o modelo padrão, foi moldada com silicone RTV para obtenção de um molde (Figura 24), da mesma maneira descrita anteriormente. Dois sulcos de escape foram confeccionados no molde em silicone, com auxílio de um estilete, para permitir o escoamento do excesso de cera liquefeita durante a obtenção das bases de prótese enceradas.



FIGURA 19 – Modelo padrão metálico.



FIGURA 20 – Matriz de silicone RTV.



FIGURA 21 – Espatulação do gesso a vácuo.



FIGURA 22 – Modelo de gesso.



FIGURA 23 – Prótese Total superior encerada.



FIGURA 24 – Matriz de silicone RTV.

A partir do molde de RTV da prótese encerada, foram obtidas as 80 próteses intactas, com espessura de 4 mm, sendo 40 para cada resina de base avaliada (L e V). Para isso, os dentes artificiais foram adaptados em suas respectivas lojas na matriz de silicone e posteriormente, cera nº 7 liquefeita foi vertida no molde. Em seguida, um modelo de gesso superior foi imediatamente posicionado e mantido sob uma pressão de 1 kg no interior da matriz. Após o resfriamento, o modelo, juntamente com a prótese encerada, foi retirado do molde e incluído em mufla metálica (resina L) ou em mufla específica para microondas (resina V) de maneira convencional (Figuras 25 a 28). Após a presa do gesso, a mufla foi aberta e a cera removida com água aquecida. Os dentes artificiais foram perfurados com fresa esférica nº 2 e tratados com o monômero da resina de base L ou V. Esse procedimento foi realizado para proporcionar união química e mecânica entre os dentes artificiais e as resinas de base.



FIGURA 25 – Modelo encerado incluído na base



FIGURA 26 – Muralha de silicone.



FIGURA 27 – Contra mufla posicionada para preenchimento com gesso.



FIGURA 28 – Contra mufla com os dentes em posição após a eliminação da cera.

As resinas para base de prótese L e V, foram proporcionadas e manipuladas de acordo com as recomendações do fabricante (Tabela 1) e acomodadas no espaço anteriormente ocupado pela cera. A mufla foi fechada e uma prensagem de prova, com uma folha de celofane, foi realizada utilizando-se carga de 0,5 ton. durante 5 minutos. Após a prensagem de prova, a mufla foi aberta e os excessos foram removidos com auxílio de um buril de Lecron nº 5. Em seguida, as resinas foram processadas de acordo com as orientações dos fabricantes (Tabela 1). Após o processamento, as bases de próteses foram submetidas ao acabamento para a remoção

dos excessos de todas as bordas laterais com ponta maxicut. Posteriormente, as próteses foram armazenadas em água destilada por $48 \text{ h} \pm 2 \text{ horas}$ a $37 \pm 1^\circ \text{ C}^{32}$.

b) Próteses reembasadas

A obtenção das próteses reembasadas foi dividida em duas etapas: confecção de próteses com 2 mm de espessura e o reembasamento das bases dessas próteses.

b.1) Obtenção de bases de prótese com 2 mm de espessura

b.1.1) Confecção dos modelos de gesso

Inicialmente, um alívio em cera, de 2 mm de espessura, foi realizado sobre o modelo padrão, sendo sua uniformidade verificada com sonda periodontal milimetrada. Esse conjunto (padrão metálico e alívio em cera) foi moldado com silicone industrial RTV e o molde obtido foi utilizado na duplicação de modelos em gesso tipo IV, como descrito anteriormente. Esses modelos proporcionaram espaço uniforme (2mm) em relação ao modelo padrão metálico, necessário para a posterior realização do reembasamento.

b.1.2) Confecção das próteses

Para a confecção das próteses de 2 mm foi utilizado, inicialmente, o molde de RTV da prótese encerada de 4 mm. Os dentes artificiais foram adaptados em suas respectivas lojas na matriz de silicone e, posteriormente, cera nº 7 liquefeita foi vertida no molde. Em seguida, um modelo de gesso superior, obtido com alívio de cera de 2 mm, foi imediatamente posicionado e mantido sob leve pressão no interior da matriz. Após o resfriamento, o modelo, juntamente com a prótese encerada foi retirado do molde.

Em seguida, a prótese total encerada com 2 mm de espessura, posicionada sobre o modelo de gesso, foi moldada com silicone RTV. O molde obtido foi utilizado para a confecção de 400 próteses com 2 mm de espessura e alívio interno de 2 mm em relação ao modelo padrão metálico, sendo 200 para cada resina de base avaliada (L e V), seguindo-se os mesmos procedimentos descritos para a confecção das próteses intactas. Quarenta próteses de cada resina foram reembasadas com o mesmo material (L/L; V/V). Das 320 restantes, 160 foram reembasadas com a resina U (L/U; V/U) e 160 com a resina T (L/T; V/T). Das próteses reembasadas com as resinas U e T,

metade (n=80) foram confeccionadas com adição de reforço (“*glass flakes*”), adicionado, em 5% em massa, sempre ao pó das resinas autopolimerizáveis.

b.2) Reembasamento das próteses com 2 mm de espessura

Para o reembasamento das bases das próteses com 2 mm de espessura, foram utilizados modelos de gesso confeccionados utilizando-se matriz em silicone obtida a partir de moldagem do modelo padrão metálico, sem alívio (Figura 19). Para a obtenção desses modelos, o gesso foi corretamente proporcionado e espatulado a vácuo por 60 segundos (Figura 20). Sobre cada modelo de gesso, inicialmente, foi adaptada cera nº 7 com espessura de 2 mm. Uma prótese com base de 2 mm de espessura foi posicionada sobre o modelo aliviado, vedada com cera nº 7 e o conjunto foi, então, incluído em mufla. Após a presa do gesso, a mufla foi aberta e a cera removida. As superfícies internas das bases das próteses de 2 mm foram lavadas com detergente e água destilada durante 20 segundos. O adesivo específico de cada material reembasador imediato foi aplicado, as resinas autopolimerizáveis foram manipuladas de acordo com as instruções dos fabricantes e inseridas no espaço criado pela cera. A mufla foi, então, fechada e levada a uma prensa hidráulica a uma carga de 0,5 ton., até a polimerização final do material. Para o reembasamento com o mesmo material, o espaço obtido com a eliminação da cera foi preenchido com as resinas para base de prótese L ou V, as quais foram processadas de acordo com as orientações do fabricante (Tabela 1).

c) Ensaio Mecânico de queda livre de dardo

Das 480 próteses confeccionadas (intactas, reembasadas, com e sem reforço), metade foi submetida à ciclagem mecânica, previamente ao ensaio de queda livre de dardo. A ciclagem foi realizada com as próteses posicionadas na máquina de ensaios, imersas em água destilada a $37 \pm 0,5^\circ\text{C}$ e uma força foi aplicada, de maneira cíclica, no centro do corpo-de-prova (Figura 29). A força utilizada para a ciclagem mecânica dos corpos-de-prova foi de 150N, simulando, assim, a força oclusal na região de molares de pacientes que utilizam prótese total^{90, 91}. A máquina de ensaios foi programada para realizar 10.000 ciclos^{27, 74, 77}, com frequência de 0,8 Hz⁷⁷, simulando

melhor, dessa maneira, a frequência de ciclos mastigatórios nos pacientes que varia entre 0,5 Hz e 2 Hz²⁷. Entre a superfície interna da base da prótese e o modelo padrão metálico, foi posicionada uma estrutura anatômica semelhante a um tórus palatino. Para cada prótese, foi confeccionado um tórus, com dimensões padronizadas, utilizando-se silicone de condensação^{77, 90}. Dessa forma, evitou-se o contato da prótese com o modelo metálico, o que poderia causar alguma tensão na prótese durante a ciclagem⁷⁷.

Para a realização do teste, a prótese foi posicionada na máquina de ensaio (Figuras 30 e 31) e um dardo de peso conhecido foi liberado a partir de uma altura 66 cm.



FIGURA 29 – Ciclagem das próteses.



FIGURA 30 – Máquina de queda livre de dardo.

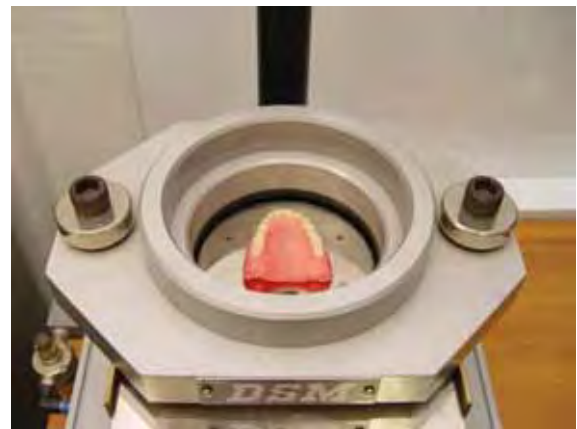


FIGURA 31 – Prótese posicionada na máquina de queda livre de dardo.

Após o teste, foi verificada a ocorrência ou não de fratura da prótese, sendo os dados registrados em um gráfico, utilizando-se 0 para designar as amostras que não

fraturaram e X para aquelas que fraturaram. Se a amostra avaliada fraturou-se, o peso do dardo foi reduzido para o teste da próxima amostra. Por outro lado, se a amostra avaliada não apresentou fratura, o peso do dardo foi aumentado. A redução ou o aumento do peso foi realizado em incrementos constantes de 15 g (ΔW), que representa a variação de peso dos dardos. O teste foi realizado, da maneira descrita, com amostras sucessivas, até completar 20 amostras, quando, então, o número total de amostras fraturadas (N) era anotado. Se $N = 10$ o teste foi considerado como finalizado. Se N não fosse igual a 10 o teste continuava de acordo com os seguintes procedimentos:

- 1) Se $N < 10$, continuou-se o teste de amostras adicionais até $N = 10$;
- 2) Se $N > 10$, continuou-se o teste até o número de amostras que não fraturaram fossem 10.

Para o cálculo do peso final do dardo para fratura (W_F) registrou-se o número de falhas para cada peso do dardo (n_i), contando somente as últimas 10 amostras que fraturaram durante o teste. Os dardos (i) foram denominados de 0, 1, 2, 3... e assim sucessivamente em uma ordem crescente de peso, sendo o de menor peso designado como 0. O produto de n_i e i resultará em in_i , e a soma de todos in_i é denominado A (Quadro 1).

O cálculo do peso final do dardo para fratura foi realizado utilizando-se a seguinte fórmula:

$$W_F = W_o + [\Delta W (A/N - 1/2)]$$

sendo W_F o peso do dardo final para a fratura em gramas, W_o é o dardo de menor peso capaz de fraturar uma amostra.

Com o peso final do dardo, calculou-se a resistência ao impacto, em Joules (J), com a seguinte fórmula:

$$E = W_F \cdot g \cdot h$$

onde E foi a energia necessária para fraturar a amostra, W_F o peso do dardo, g a aceleração gravitacional (9,81 m/s²) e h a altura de onde o dardo foi liberado para a realização dos testes⁸⁰.

Quadro 1 - Quadro esquemático para anotações dos resultados do ensaio de queda livre de dardo

Peso dos Dardos (g)	Nº Próteses																				n _i	i	in _i
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	18	20			
165,11							X														1	3	3
150,11						0		X		X		X						X			4	2	8
135,11	X				0				0		0		X		X		0		X		4	1	4
120,11		X		0										0		0				0	1	0	0
105,11			0																				
90,11																							

Planejamento experimental

Neste estudo a resistência ao impacto foi avaliada por meio de dois testes: Charpy e queda livre de dardo. Para o teste Charpy, foi analisado o efeito do fator Condição Experimental sobre a variável de análise (resistência ao impacto) em 32 níveis, com 10 repetições cada, perfazendo um total de 320 corpos-de-prova. A Tabela 2 apresenta as condições experimentais avaliadas para o teste Charpy, e as siglas utilizadas para identificá-las.

Tabela 2 – Condições experimentais avaliadas no teste de resistência ao impacto Charpy

Condições experimentais	Materiais	
	Intactos	Reembasados
Sem reforço e sem ciclagem	L	L/L
	V	V/V
	U	L/U
	T	L/T
		V/U
		V/T
Sem reforço e com ciclagem	LC	L/LC
	VC	V/VC
	UC	L/UC
	TC	L/TC
		V/UC
		V/TC
Com reforço e sem ciclagem	UR	L/UR
	TR	L/TR
		V/UR
		V/TR
Com reforço e com ciclagem	URC	L/URC
	TRC	L/TRC
		V/URC
		V/TRC

L – resina termopolimerizável Lucitone 550; V- resina polimerizada por microondas Vipi Wave; U - resina autopolimerizável para reembasamento imediato; T - resina autopolimerizável para reembasamento imediato.

Para a queda livre de dardo, foi analisado o efeito do fator Condição Experimental sobre a variável de análise (resistência ao impacto) em 24 níveis, com 20 repetições cada, perfazendo um total de 480 corpos-de-prova. As mesmas siglas apresentadas na Tabela 2 para o teste Charpy foram também utilizadas para identificar as condições experimentais avaliadas no teste de queda livre de dardo. Entretanto, deve-se salientar que, no teste de queda livre de dardo, os corpos-de-prova apresentavam forma e dimensões similares às de próteses totais superiores. Dessa forma, não foram

avaliadas as condições relativas às resinas para reembasamento imediato (U, T, UC, TC, UR, TR, URC e TRC), uma vez que esses materiais são sempre utilizados em associação com resinas para base de prótese.

Metodologia Estatística

A análise estatística da resistência ao impacto Charpy foi realizada com análise de variância seguida pelo teste de Dunnet C com um nível de significância de 5%. Para o teste de queda livre de dardo foram utilizados análise de variância seguida pelo teste de Tukey com um nível de significância de 5%.

Resultados

5 Resultado

5.1 Resistência ao impacto - Charpy

Os valores obtidos durante os testes de resistência ao impacto Charpy estão apresentados nas tabelas de 3 a 5 do apêndice.

As pressuposições da análise de variância de homogeneidade de variância e de normalidade entre as condições experimentais foram provadas pelo teste de Levene e Komogorov-Smirnov. Os dados amostrais não se apresentaram homogêneos (Levene = 0,00), nem se aderiram a curva de normalidade (Komogorov-Smirnov < 0,01). Dessa forma, os resultados foram, então, submetidos a uma análise de variância e complementada pelo teste Dunnet C, que é utilizado quando não há homogeneidade de variância, tendo sido adotado o nível de 5% de significância como critério para aceitar a evidência de diferença significativa entre médias.

O teste de Dunnet C foi utilizado para a comparação múltipla de médias e os valores de probabilidade correspondentes a essas comparações estão na tabelas 6 a 36 do apêndice. Essas comparações estão resumidas no gráfico de médias da figura 32 e na tabela 3, onde letras iguais indicam que não há evidência de diferença significativa entre as médias ao nível de 5%.

Tabela 3 - Valores médios (kJ/m^2) de resistência ao impacto (\pm desvio-padrão), obtidos no teste resistência ao impacto Charpy, para o fator Condição Experimental

Condição experimental	Resistência ao impacto - Charpy (kJ/m^2)	
L	1,53 ($\pm 0,28$)	F
V	1,74 ($\pm 0,47$)	F
U	0,61 ($\pm 0,13$)	AB
T	0,66 ($\pm 0,13$)	ABC
L/L	1,43 ($\pm 0,29$)	EF
V/V	1,68 ($\pm 0,27$)	F
L/U	0,78 ($\pm 0,10$)	ABCD
L/T	4,66 ($\pm 0,76$)	G
V/U	0,89 ($\pm 0,18$)	ABCDE
V/T	8,41 ($\pm 0,75$)	I
LC	1,55 ($\pm 0,16$)	F
VC	1,71 ($\pm 0,41$)	F
UC	0,77 ($\pm 0,22$)	ABCD
TC	0,68 ($\pm 0,18$)	ABCD
L/LC	1,57 ($\pm 0,20$)	F
V/VC	1,66 ($\pm 0,27$)	F
L/UC	0,82 ($\pm 0,16$)	ABCD
L/TC	5,60 ($\pm 0,92$)	GH
V/UC	0,80 ($\pm 0,16$)	ABCD
V/TC	8,41 ($\pm 0,47$)	I
UR	0,59 ($\pm 0,08$)	A
TR	0,65 ($\pm 0,07$)	AB
L/UR	0,77 ($\pm 0,05$)	BCD
L/TR	6,97 ($\pm 0,82$)	HI
V/UR	0,86 ($\pm 0,14$)	BCD
V/TR	8,20 ($\pm 0,75$)	I
URC	0,82 ($\pm 0,10$)	BCD
TRC	0,75 ($\pm 0,17$)	ABCD
L/URC	0,89 ($\pm 0,06$)	DE
L/TRC	5,99 ($\pm 0,52$)	GH
V/URC	0,88 ($\pm 0,09$)	CD
V/TRC	8,14 ($\pm 0,48$)	I

Letras iguais indicam valores de médias estatisticamente iguais entre si.

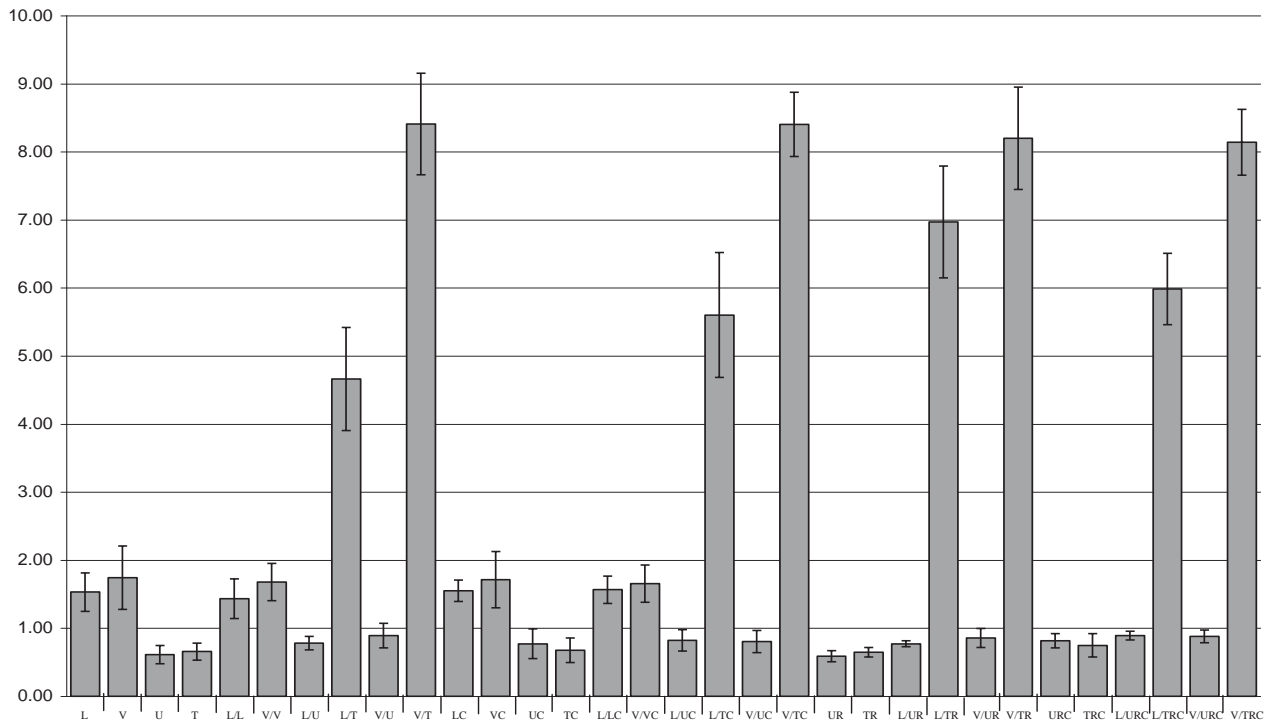


FIGURA 32 – Médias e desvios-padrões de resistência ao impacto Charpy (kJ/m²).

Analisando a tabela 3 e a figura 32, observa-se que as médias de resistência ao impacto para as condições experimentais L, V, L/L, V/V, LC, VC, L/LC e V/VC não apresentaram diferenças estatisticamente significantes. Para as condições experimentais relativas às resinas autopolimerizáveis, URC foi estatisticamente maior do que UR. As demais condições experimentais (U, T, UC, TC, TR e TRC) foram estatisticamente iguais entre si. Além disso, não foram detectadas diferenças significativas entre essas condições e URC, o mesmo tendo sido observado quando essas condições foram comparadas a UR. Não houve diferenças significativas entre as condições experimentais em que o reembasamento foi realizado com a resina Ufi Gel Hard (L/U, V/U, L/UC, V/UC, L/UR, V/UR, L/URC, V/URC). Já a condição experimental L/T apresentou média estatisticamente igual às das condições L/TC e L/TRC. A condição L/TR também foi igual estatisticamente a L/TC e L/TRC, porém estatisticamente maior do que L/T. As médias de resistência ao impacto das condições experimentais da resina Vipi Wave reembasada com a resina autopolimerizável Tokuyama Rebase II (V/T, VTC, V/TR, V/TRC) foram iguais estatisticamente entre si. Comparando as mesmas condições experimentais da resina T alterando apenas a resina de base, apenas as condições L/TR e V/TR não apresentaram diferenças estatisticamente significantes. Em todas as outras condições, o reembasamento da resina de base V com a resina autopolimerizável T apresentou valores estatisticamente maiores do que o reembasamento da resina de base L com o mesmo material autopolimerizável.

Todos os corpos-de-prova apresentaram fratura típica frágil, exceto aqueles reembasados com a resina Tokuyama Rebase II, para os quais foi observada delaminação na maioria dos corpos-de-prova, independentemente da condição experimental, ou seja, resina de base, ciclagem mecânica ou adição de reforço.

5.2 Resistência ao impacto - Queda livre de dardo

Os valores obtidos durante os testes de queda livre de dardo estão apresentados nas tabelas 37 a 60 do apêndice.

Esses valores foram submetidos à análise de variância, cujo resumo se encontra na tabela 4, que foi complementada pelo teste de Tukey sendo adotado o nível de significância de 5% como critério para aceitar a evidência de diferença significativa entre médias.

Tabela 4 - Análise de variância das próteses da queda livre de dardo

Fonte de variação	Graus de liberdade	Média Quadrática	F	p
Condição Experimental	23	6356,58	67,8834	0,000
Resíduo	456	94,2875		

Analisando a tabela 4, observa-se que houve efeito significativo para o fator Condição Experimental ($p=0,0000$). Os valores médios de queda livre de dardo foram, então, submetidos ao teste de Tukey, cujos resultados estão contidos na tabela 61 do apêndice. Essas comparações estão resumidas na tabela 5, onde letras iguais indicam que não há evidência de diferença significativa entre as médias ao nível de 5%. As médias e os respectivos desvios-padrão estão ilustrados na Figura 33.

Tabela 5 - Valores médios (g) de resistência ao impacto (\pm desvio-padrão), obtidos no teste de queda livre de dardo, para o fator Condição Experimental

Condição experimental	Resistência ao impacto - queda livre (g)	
L	114,11 (\pm 12,61)	DEFG
V	117,11 (\pm 5,81)	FG
L/L	109,61 (\pm 9,45)	BCDEF
V/V	114,11 (\pm 2,89)	DEFG
L/U	99,11 (\pm 2,89)	AB
L/T	136,61 (\pm 16,26)	H
V/U	105,11 (\pm 11,64)	ABCDE
V/T	147,11 (\pm 15,53)	HI
LC	112,61 (\pm 10,42)	CDEF
VC	115,61 (\pm 4,59)	EFG
L/LC	109,61 (\pm 9,45)	BCDEF
V/VC	112,61 (\pm 0,70)	CDEF
L/UC	97,61 (\pm 0,70)	A
L/TC	136,61 (\pm 16,26)	H
V/UC	103,61 (\pm 6,54)	ABCD
V/TC	153,11 (\pm 15,53)	I
L/UR	106,61 (\pm 11,40)	ABCDEF
L/TR	124,61 (\pm 9,45)	G
V/UR	97,61 (\pm 0,70)	A
V/TR	153,11 (\pm 10,67)	I
L/URC	102,11 (\pm 5,81)	ABC
L/TRC	124,61 (\pm 4,59)	G
V/URC	99,11 (\pm 2,89)	AB
V/TRC	144,11 (\pm 12,61)	HI

Letras iguais indicam valores de médias estatisticamente iguais entre si.

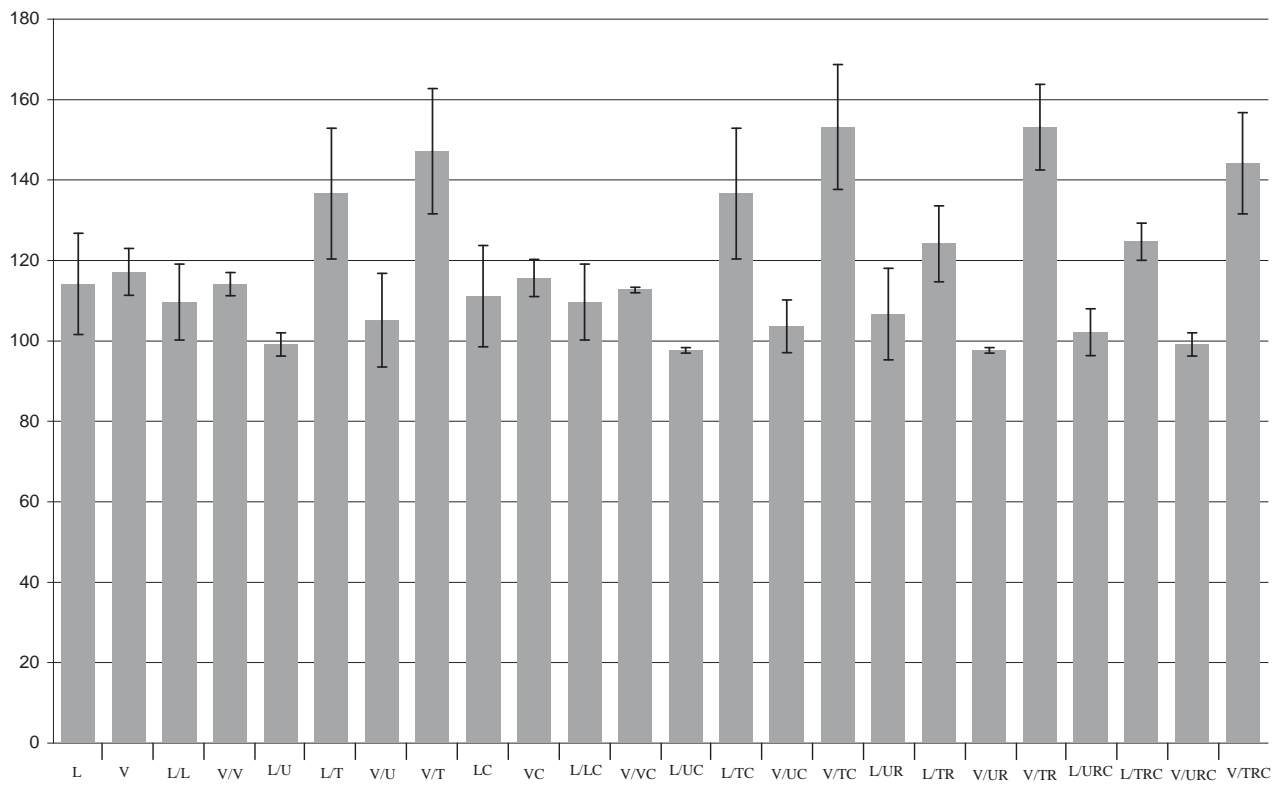


FIGURA 33– Valores médios e desvios-padrão de queda livre de dardo das condições experimentais.

A tabela 5 e a figura 33 indicam que as condições experimentais L, V, L/L, V/V, LC, VC, L/LC, V/VC foram estatisticamente iguais entre si. As condições experimentais reembasadas com a resina U, independente da resina de base, ciclagem mecânica ou adição de reforço (L/U, V/U, L/UC, V/UC, L/UR, V/UR, L/URC, V/URC), não apresentaram diferenças estatisticamente significantes. As condições experimentais L/T e L/TC foram estatisticamente iguais entre si e maiores do que L/TR e L/TRC, que, por sua vez, não apresentaram diferenças estatísticas entre si. Não houve diferença estatística significativa quando a resina de base V foi reembasada com a resina autopolimerizável T, independente de adição de reforço ou ciclagem mecânica (V/T, V/TC, V/TR, V/TRC). Quando se compara as mesmas condições experimentais das resinas reembasadas com T (adição de reforço e ciclagem mecânica), variando-se apenas as resinas de base, somente L/T foi estatisticamente igual a V/T. Em todas as outras condições, o reembasamento da resina de base V com a resina autopolimerizável T, apresentou valores estatisticamente maiores do que o reembasamento da resina de base L com o mesmo material autopolimerizável.

Da mesma forma que nos testes de resistência ao impacto Charpy, todos os corpos-de-prova avaliados no teste e queda livre de dardo apresentaram fratura típica frágil, exceto aqueles reembasados com a resina Tokuyama Rebase II, para os quais também foi observada delaminação na maioria dos corpos-de-prova, independentemente da condição experimental, ou seja, resina de base, ciclagem mecânica ou adição de reforço.

Além das análises dos resultados obtidos nos testes de resistência ao impacto Charpy e queda livre de dardo, foi também calculado o coeficiente de correlação (“r”) entre esses testes. Para isso, foi empregada a seguinte regressão linear:

$$y = a * x,$$

onde “y” é a média obtida no teste de queda livre de dardo, “a” é o coeficiente de regressão e “x” é a média obtida no teste de impacto Charpy. Para aplicação dessa equação de regressão, os valores obtidos nos testes Charpy e queda livre de dardo foram calculados em Joule (Tabela 62). O coeficiente de regressão “a” informa

quantas vezes o valor médio obtido no teste de queda livre de dardo é maior que aquele observado no teste de impacto Charpy.

A relação entre esses testes é mais precisa quanto mais próximo de 1 for o coeficiente de correlação. Dessa forma, a interpretação da Figura 34 demonstra que houve alta correlação entre as variáveis avaliadas ($r = 0,9395$).

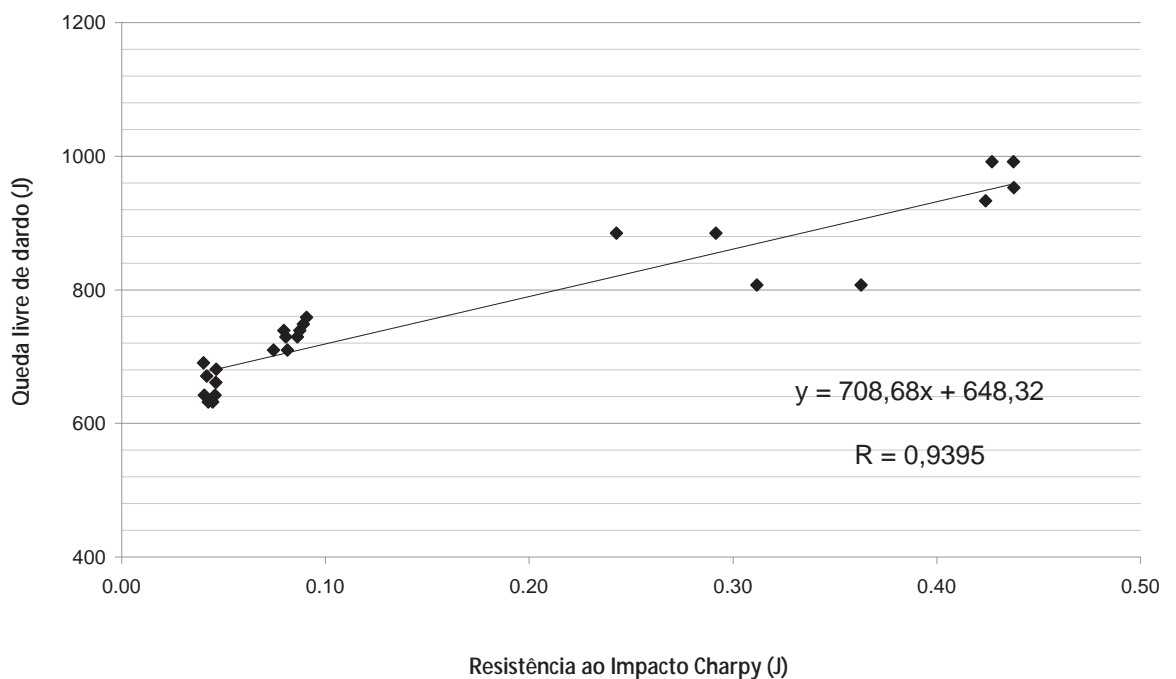


FIGURA 34 - Diagrama de dispersão da resistência ao impacto Charpy em relação à queda livre de dardo.

Discussão

6 Discussão

Este estudo avaliou a resistência ao impacto por meio do teste Charpy das resinas de base Lucitone 550 (L) e Vipi Wave (V) antes e após o reembasamento dessas, que foi realizado com o mesmo material (reembasamento mediato) ou com as resinas autopolimerizáveis Ufi Gel Hard (U) ou Tokuyama Rebase II (T), indicadas para o reembasamento do tipo imediato, que também foram testadas puras. Além disso, o efeito da adição de reforço de flocos de vidro (“glass flake”) e da atuação de forças cíclicas sobre a resistência ao impacto também foi avaliado. Diferentes métodos para a avaliação da resistência ao impacto de polímeros têm sido desenvolvidos. Segundo Price, Earnshaw⁶⁹, um método frequentemente utilizado é o teste Charpy, pelo qual o corpo-de-prova é apoiado, horizontalmente, sobre dois suportes e submetido à carga de impacto em flexão por meio de um pêndulo. Nesse teste, a energia de fratura é calculada pela redução da energia cinética do pêndulo, dada pela diminuição da altura de oscilação após a fratura do corpo-de-prova. A energia é expressa por unidade de área, correspondente à secção transversal localizada abaixo do entalhe, para se obter o valor da resistência ao impacto do material. O teste Charpy tem sido amplamente utilizado por outros autores^{8, 21, 23, 26, 28, 35, 41, 44, 45, 46, 47, 52, 55, 66, 68, 69, 70, 72, 75, 82, 87, 88, 93, 96, 100} tendo sido selecionado para o presente estudo com o objetivo de comparar os resultados obtidos bem como sua interpretação e discussão. Os resultados demonstraram que as condições L e V foram estatisticamente iguais entre si. Um estudo de Memon et. al.⁵⁵ demonstrou que a resina termopolimerizável convencional apresentou média de resistência ao impacto estatisticamente maior que a da resina polimerizadas por microondas, mas a diferença observada foi muito pequena. Segundo os autores, isso pode ter ocorrido pela utilização do ciclo longo para a polimerização da resina termopolimerizável convencional, no qual a temperatura utilizada foi de 70° C por 9 horas sem período final em água em ebulição. O ciclo sem esse período final em ebulição pode ter resultado em maior quantidade de monômero residual a resina termopolimerizável que na resina polimerizada por microondas⁵⁵. Esse nível maior de monômero residual pode ter

atuado como plastificante aumentando, dessa forma, a resistência ao impacto da resina polimerizada convencionalmente⁹⁵. No presente estudo, o ciclo curto de polimerização da resina termopolimerizável convencional Lucitone 550 foi utilizado, no qual a resina permanece em água a 73°C por 90 minutos, seguidos por 30 minutos em água em ebulição. O ciclo com esse período final em ebulição pode ter diminuído a quantidade de monômero residual da resina Lucitone 550, o que pode ter contribuído para a igualdade estatística na resistência ao impacto entre ela e a resina polimerizada por microondas Vipi Wave.

Quando o reembasamento mediato foi realizado, não houve diferenças entre essas condições experimentais em relação a L e V puras. Esses resultados provavelmente estão relacionados ao fato do reembasamento do tipo mediato ser realizado com a mesma resina termopolimerizável convencional ou polimerizada por microondas utilizadas na confecção da base. Nessas condições, o reembasador e a resina de base são o mesmo material e, portanto, a composição e as propriedades mecânicas são similares, promovendo, dessa forma, igual resistência ao impacto do conjunto reembasado. Nos testes de impacto de corpos-de-prova entalhados, a trinca se inicia sempre na base do entalhe⁹⁶. Dessa forma, no presente estudo, tanto nos corpos-de-prova do reembasamento mediato como naqueles das resinas termopolimerizável Lucitone 550 ou polimerizada por microondas Vipi Wave puras, a base dos entalhes era localizada sempre na resina de base. Dessa forma, podemos supor que a energia necessária para a formação da trinca tenha sido similar nas condições L, V, L/L e V/V, resultando na igualdade entre os valores médios de resistência ao impacto. Durante sua propagação, a trinca deve ultrapassar a interface de união entre os dois materiais para, finalmente, propagar-se pela resina de base. Como não houve diferença entre as resinas puras e reembasadas com o mesmo material, provavelmente os corpos-de-prova reembasados comportaram-se como uma estrutura única. Tem sido relatado que a união entre resinas ocorre por meio da formação de cadeias poliméricas, denominadas de polímero de entrelaçamento, na interface entre os materiais⁸⁹. A formação desse polímero está relacionada com a difusão do monômero de um dos materiais para a estrutura polimérica do outro^{84, 94, 95}. No presente estudo, no

reembasamento mediato, a resina Lucitone 550 permaneceu na fase plástica, sob pressão, por 30 minutos em contato com a resina de base polimerizada e a resina Vipi Wave, por 20 minutos. Durante esse período, o monômero da resina na fase plástica pode ter se difundido para a estrutura da resina de base já polimerizada. Além disso, nos reembasamentos mediatos, o ciclo de polimerização utiliza temperaturas mais altas e a difusão do monômero depende do tempo de contato e da temperatura de polimerização^{94, 95}. Esses autores⁹³ observaram que, quando a resina termopolimerizável foi unida a dentes artificiais de resina acrílica, a interface de união apresentou-se mais difusa que aquela observada com a resina autopolimerizável. Segundo os autores⁹³, a maior extensão de difusão dos monômeros da resina termopolimerizável para o interior do dente artificial ocorreu não somente pela maior temperatura de polimerização utilizada como também pelo maior tempo de contato antes da reação de polimerização. Outro fator que pode influenciar a união entre polímeros é a similaridade química entre os materiais. Arena et al.² estudaram a resistência de união entre resinas para base de prótese e para reembasamento imediato e observaram que o maior valor foi obtido com a combinação Triad VLC/Triad Reline. Segundo os autores, esse resultado foi relacionado ao fato de esses dois materiais apresentarem composição idêntica. Dessa forma, provavelmente, os fatores tempo de contato, temperatura de polimerização e similaridade química, presentes na técnica de reembasamento mediato, tenham proporcionado união adequada e interface difusa entre os materiais, proporcionando igualdade tanto entre L e L/L como entre V e V/V.

Um dos fatores importantes que deve ser considerado é a incidência de forças cíclicas sobre as resinas de base e para reembasamento durante a função. A fratura da base da prótese é frequentemente observada na clínica, e uma das principais causas dessa fratura é a fadiga durante a mastigação, principalmente por falta de adaptação³⁹ ou a queda das próteses sobre uma superfície dura⁶⁸. Neste estudo, o objetivo da aplicação de carga cíclica não foi testar a falha, mas sim, expor as resinas acrílicas a um número finito de ciclos de carga (10^4) simulando, o mais próximo possível a função clínica⁷⁴. A carga cíclica em flexão foi selecionada por simular melhor a exposição das resinas acrílicas às cargas

mastigatórias^{77, 90}. Os resultados demonstraram que a ciclagem mecânica não teve efeito adverso sobre a resistência ao impacto das resinas para base de prótese testadas puras (L – 1,53 kJ/m² e LC - 1,55 kJ/m²; V - 1,74 kJ/m² e VC – 1,71 kJ/m²) ou reembasadas com elas mesmas (L/L – 1,43 kJ/m² e L/LC – 1,57 kJ/m²; V/V – 1,68 kJ/m² e V/VC - 1,66 kJ/m²). Estudos anteriores, realizados com corpos-de-prova em forma de barra⁷⁴, ou em forma de prótese⁷⁷ evidenciaram que quando resinas acrílicas para base de prótese, para reembasamento, bem como a interação entre elas foram submetidas à ciclagem mecânica, seus valores de resistência à flexão apresentaram-se menores. Diferenças nas dimensões e a utilização de corpos-de-prova em formas geométricas simples podem produzir resultados diferentes⁹⁰. Nos corpos-de-prova testados puros, a aplicação de repetidas tensões poderia desenvolver uma trinca acentuada devido ao fato do polimetil metacrilato, na temperatura ambiente, ser classificado como um polímero semi-dúctil. Uma das características dos polímeros semi-dúcteis é a formação dessas trincas, que podem alterar as propriedades mecânicas desses materiais²⁷. Já para os corpos-de-prova reembasados, além da resina de base há também o reembasador que, no caso das condições L/L e V/V, são o mesmo material, e, ainda, uma interface entre eles. A ciclagem mecânica, para esses corpos-de-prova, foi realizada com o reembasador voltado para cima, para simular as condições clínicas, nas quais, durante a função, ocorre o afastamento da base da prótese em relação aos tecidos de suporte, na região da linha média e, dessa maneira, o material de base é submetido a forças de tração e o material reembasador a forças de compressão. Uma possível explicação para a igualdade observada entre as médias de resistência ao impacto das condições experimentais controle e cicladas, seria o número de ciclos utilizados no presente estudo. Hargreaves²⁷ demonstrou que apenas acima de 10.000 ciclos mecânicos, houve alteração nas propriedades mecânicas das resinas acrílicas.

Para os corpos-de-prova puros de U e T não houve diferença estatística significativa e essas condições foram menores dos que as resinas para base de prótese termopolimerizável convencional L e polimerizada por microondas V. Esses resultados podem estar relacionados com a composição dos

materiais utilizados. Os materiais L e V são resinas termopolimerizáveis à base de polimetil metacrilato, apresentando, ainda, na composição do líquido, o agente de ligação cruzada etileno glicol dimetacrilato (EGDMA). Tem sido observado que a adição de 10% desse agente aumenta a resistência ao impacto¹⁴. Entretanto, tendo em vista que esse agente apresenta cadeias poliméricas curtas, o aumento da sua concentração resulta em diminuição dos valores obtidos^{14, 64, 69}. Em função desses aspectos, usualmente o fabricante limita a concentração do EDGMA em 15%^{3, 69}. Embora as composições exatas das resinas L e V não sejam conhecidas, os resultados obtidos sugerem que a concentração de EDGMA não deve ultrapassar o limite citado. Com relação ao material T, segundo o fabricante, o pó é à base de polietil metacrilato enquanto o líquido é composto por aceto(acetoxi)etil metacrilato e o agente de ligação cruzada é o 1,9-nonanediol dimetacrilato. O agente de ligação cruzada 1,9-nonanediol dimetacrilato apresenta cadeias mais longas que o EDGMA. Entretanto, apesar da sua composição, os valores obtidos para os corpos-de-prova reembasados com esse material foram menores que os das resinas de base L e V puras. Uma possível explicação para esses resultados seria a concentração do agente de ligação cruzada, que, segundo o fabricante é de 39%. De acordo com Oku⁶⁴, o aumento na quantidade de ligações cruzadas diminui a fluidez do polímero e promove redução da resistência ao impacto. Assim, a alta concentração presente no material T provavelmente promove a formação de uma estrutura polimérica com maior densidade de ligações cruzadas e, portanto, mais rígida, diminuindo a resistência ao impacto⁵⁵. A resina para reembasamento imediato U apresenta na composição do pó polietil metacrilato, similar à resina T, enquanto o líquido é composto por 99,5% de 1,6-hexanediol dimetacrilato. Dessa forma, a estrutura polimérica formada durante a polimerização da resina U também apresenta grande quantidade de ligações cruzadas sendo, portanto, rígida.

A ciclagem mecânica também não causou efeitos na resistência ao impacto das resinas puras (U - 0,61 kJ/m² e UC - 0,77 kJ/m²; T - 0,66 kJ/m²; TC - 0,68 kJ/m²), que não apresentaram diferenças estatísticas entre si e foram estatisticamente menores do que as condições experimentais das resinas

temopolimerizáveis e polimerizadas por microondas. A igualdade entre as condições experimentais cicladas e o controle, pode ter ocorrido devido ao número de ciclos aos quais foram submetidos os corpos-de-prova (10.000), que, segundo Hargreaves, não altera as propriedades mecânicas das resinas acrílicas. A diferença estatística entre as condições experimentais cicladas das resinas autopolimerizáveis em relação às resinas temopolimerizáveis e polimerizadas por microondas, pode ter ocorrido pela grande concentração de agentes de ligação cruzada na composição do líquido das resinas autopolimerizáveis^{55, 64}.

Na tentativa de diminuir a incidência de fraturas, várias pesquisas têm sido realizadas no intuito de melhorar as propriedades mecânicas das resinas para base de prótese. Para isso, essas resinas têm tido sua composição alterada com butadieno estireno, sendo denominadas de “alto impacto”⁵⁷ ou diversos tipos de fibras têm sido adicionados à matriz polimérica, entre elas o vidro^{10, 16, 19, 37, 40, 41, 43, 60, 61, 67, 81, 85, 87, 89, 96, 99}, carbono⁸⁷, Kevlar^{37, 87}, polietileno^{13, 28, 44, 87}, e o próprio polimetil metacrilato^{33, 35, 36}.

Algumas das fibras citadas aumentam significativamente a resistência ao impacto das resinas para base de prótese, mas sua utilização aumenta o número de passos laboratoriais e, conseqüentemente, o tempo para confecção das próteses⁴⁴. Além disso, a complexidade dos procedimentos laboratoriais é aumentada, pois cuidados adicionais durante a inclusão e prensagem devem ser tomados para que a concentração, distribuição e posicionamento dessas fibras não influenciem os resultados obtidos^{33, 35}. Em função desses aspectos, a utilização de fibras não é realizada, rotineiramente, pelos técnicos de laboratório. Outro problema é o reparo de próteses reforçadas com fibras, porque essas se projetam das superfícies fraturadas dificultando o procedimento clínico²⁴. Na tentativa de superar essas limitações Franklin et al.²⁴ propuseram a incorporação de flocos de vidro ao pó da resina acrílica, previamente à sua manipulação com o líquido e polimerização, e observaram um aumento significativo da resistência à fratura (“toughness”) de uma resina termopolimerizável para base de prótese. No presente estudo, a adição de flocos de vidro (“glass flake”) não alterou a resistência ao impacto das resinas autopolimerizáveis testadas puras (UR - 0,59 kJ/ m² e TR 0,65 kJ/ m²). Essas

condições experimentais foram estatisticamente iguais entre si e menores do que as resinas termopolimerizáveis convencional e polimerizada por microondas. A diferença de resultado entre os dois estudos pode ter ocorrido pela diferença tanto na dimensão dos corpos-de-prova quanto também nos testes utilizados, visto que a resistência à fratura (“toughness”) é um teste de baixa velocidade e o de resistência ao impacto Charpy é de alta velocidade. Outro aspecto que pode ter contribuído para os resultados do presente estudo, é o fato de que o reforço utilizado não era silanizado, o que pode não ter produzido uma união efetiva entre a matriz polimérica e esse reforço. A falta de aderência entre o reforço e a matriz polimérica pode gerar espaços vazios na interface reforço/ matriz polimérica que podem agir como pontos de concentração de stress, o que pode ter causado a igualdade entre os grupos controle e reforçados com “glass flake” das resinas autopolimerizáveis puras U e T^{41, 81}. Durante a manipulação dos corpos-de-prova reforçados com floco de vidro, observou-se a consistência mais espessa da massa de resina, dificultando a manipulação. Alguns autores, para melhorar a união das fibras com a matriz polimérica alteraram a proporção pó/ líquido⁸¹ ou trataram-nas previamente com monômero^{10, 41, 44, 98}. Neste estudo, ainda que a massa tivesse ficado mais espessa, a proporção pó/ líquido indicada pelo fabricante foi mantida em todas as condições experimentais.

A resina T com adição de reforço e ciclada (TRC - 0,75 kJ/m²) foi estatisticamente igual a T, TC e TR. Por outro lado, a condição experimental URC (0,82 kJ/m²) foi estatisticamente maior do que UR. Porém, a diferença foi pequena. Além disso, tanto UR quanto URC foram estatisticamente iguais a U e UC. Mesmo com a diferença entre as condições UR e URC, todas as condições das resinas autopolimerizáveis puras, independente de ciclagem ou adição de reforço, foram estatisticamente menores do que as resinas para base de prótese. Conforme relatado anteriormente, essa diferença pode ter ocorrido devido às diferenças na composição dos materiais reembasadores e resinas para base termopolimerizáveis^{55, 64}.

Quando as resinas L e V foram reembasadas com a resina U, os valores de resistência ao impacto obtidos foram estatisticamente iguais entre si e

significativamente menores do que os das resinas para base quando testadas puras (L/U – 0,78 kJ/ m², L/UC – 0,82 kJ/ m², L/UR – 0,77 kJ/ m², L/URC – 0,89 kJ/ m², V/U – 0,89 kJ/ m², V/UC – 0,80 kJ/ m², V/UR – 0,86 kJ/ m², V/URC – 0,88 kJ/ m²). Essa diferença em relação às resinas de base pode ser atribuída à menor resistência ao impacto da resina U, que deve ter sido relacionada com a presença de agentes de ligação cruzada em sua composição^{55, 64}. A união entre o material U e as resinas de base L e V também pode ter contribuído para que os menores valores de resistência ao impacto das amostras reembasadas com esse material, em comparação com as resinas de base puras. Nos estudos que têm avaliado a utilização de fibras de reforço sobre a resistência ao impacto de resinas termopolimerizáveis para base de prótese, à base de metil metacrilato³⁴, tem sido observado que a união entre a fibra e a matriz polimérica pode exercer um papel importante no sucesso do reforço. À medida que a trinca se propaga através da matriz e encontra uma fibra, se a união entre essas partes é correta (nem excessiva ou mínima), a fibra não irá se fraturar, e a trinca será defletida ao longo de seu comprimento. Por meio desse mecanismo, a trinca pode ser desviada na interface da fibra várias vezes, produzindo uma rede de trincas. Entretanto, se a união entre a fibra e a matriz for excessiva, a trinca pode se propagar através da fibra como se o material fosse homogêneo, sem a presença de qualquer reforço. Em estudo posterior, Jagger et al.³⁵ também ressaltaram que, embora a união entre a fibra e a matriz polimérica possa influenciar no sucesso do reforço, uma união mais efetiva nessa interface não é sempre necessária ou mesmo desejável. Um exemplo da influência dessa união nos resultados obtidos tem sido observado com o auto-reforço, realizado com fibras de polimetil metacrilato. Segundo os autores³⁶, nesse tipo de reforço, em função da similaridade química entre a matriz e as fibras, provavelmente, a união entre essas partes seja excessiva e, dessa forma, essas fibras não oferecem nenhuma resistência à propagação da trinca e, conseqüentemente, nenhuma melhoria na resistência ao impacto^{33, 36}. O adesivo do material U apresenta 2-hidroxietil metacrilato (HEMA) e diclorometano, um monômero e um solvente, respectivamente. Solventes não polimerizáveis, como o diclorometano, agem dissolvendo e expandindo a camada superficial da resina

para base de prótese. Esse processo aumenta a difusão dos materiais polimerizáveis, principalmente o metil metacrilato, a partir do material reembasador e promove a formação de um polímero de entrelaçamento mais extenso. O monômero do material reembasador é polimerizável. A penetração desse monômero na resina de base teoricamente aumenta a união por meio de sua participação na polimerização⁸³. Takahashi, Chai⁸³ realizaram um estudo de resistência de união onde relataram que tratamento da superfície de união com o adesivo da resina GC demonstrou um efeito positivo comparado com os corpos-de-prova não tratados na resistência de união. O adesivo da resina GC Relining contém 70% de MMA e 30% de acetona, semelhante ao do material U. A ação do adesivo da resina GC relining é, provavelmente, mediada pela ação do solvente não polimerizável. Assim, podemos supor que a união do material U com as resinas de base tenha sido mais efetiva e, como resultado, os corpos-de-prova reembasados com essa resina se comportaram como um material homogêneo. Dessa forma, a trinca que se iniciou na base do entalhe, que foi realizado no material reembasador, ultrapassou a interface, sem defletir, fraturando o material de base.

A análise dos resultados obtidos quando o reembasamento foi realizado com o material T, independente do material de base (L ou V), demonstrou resistência ao impacto estatisticamente maior do que as condições L, V, L/L e V/V. Com base nos estudos de Jagger^{33, 36}, podemos supor que a união das condições experimentais reembasadas com T não foram tão efetivas quanto àquelas obtidas pelo reembasamento com a própria resina de base ou com o material U. Nessas condições experimentais houve deflexão da trinca na interface, tendo sido observada, em grande parte dos corpos-de-prova, delaminação, ou seja, separação total ou parcial entre a resina para reembasamento e a resina de base. Para que a deflexão e a delaminação ocorram, é necessário alto consumo de energia e, assim, maiores médias de resistência ao impacto foram obtidas nas condições reembasadas com T. O tratamento da superfície de união, para os corpos-de-prova dessa condição, foi realizado com o adesivo do material T. Esse adesivo é composto pelos solventes não polimerizáveis acetato de etil e acetona,

que atuam dissolvendo e expandindo a camada superficial da resina para base de prótese⁸³, promovendo a penetração da resina de reembasamento, podendo resultar na formação de uma camada mista formada pelos dois materiais⁵. Perez et al.⁶⁶, realizaram um trabalho onde antes do reembasamento a resina de base era tratada com adesivo da resina Tokuso Rebase ou com aplicação do monômero da resina de base por 180 segundos seguido da aplicação do adesivo dessa mesma resina. Os autores observaram que, quando o tratamento da superfície de união da resina de base foi realizado apenas com o adesivo da resina Tokuso Rebase, composto de diclorometano, a resistência ao impacto foi maior do que quando o tratamento dessa superfície foi realizado com o monômero da resina de base por 180 segundos seguido da aplicação do adesivo da resina para reembasamento Tokuso Rebase. Esses resultados foram atribuídos a uma possível união menos efetiva entre a resina de base e o reembasador quando o tratamento foi realizado apenas com o adesivo. Dessa forma, o valor de resistência ao impacto obtido foi maior, com diferença significativa entre as condições experimentais reembasadas com Tokuso Rebase em relação aos outros materiais, considerando-se que, quanto maior a adesão entre os materiais, menor a resistência ao impacto^{33, 34, 36, 45}.

Somente para a resina L reembasada com o material T, a adição de reforço resultou em aumento significativo na resistência ao impacto (L/TR - 6,97 kJ/ m²; L/T - 4,66 kJ/ m²). Estudos clínicos são necessários para determinar se esse resultado é clinicamente significante. As condições experimentais L/T e L/TC (5,60 kJ/ m²) foram estatisticamente iguais entre si. O mesmo aconteceu entre as condições experimentais L/TR (6,97 kJ/ m²) e L/TRC (5,99 kJ/ m²). Esses resultados indicam que a ciclagem mecânica não causou nenhum efeito sobre a resistência ao impacto dessas condições, que pode ter ocorrido pela quantidade de ciclos aos quais foram submetidos os corpos-de-prova, conforme discutido anteriormente²⁷.

O reembasamento da resina de base V com o material T não apresentou diferenças estatisticamente significantes (V/T - 8,41 kJ/ m²; V/TC - 8,41 kJ/ m²; V/TR - 8,20 kJ/ m²; V/TRC - 8,14 kJ/ m²). Analisando esses resultados observa-se que a adição de reforço e a ciclagem mecânica não influenciaram na resistência

ao impacto dessas condições experimentais, que pode ter ocorrido pela quantidade de ciclos empregada neste estudo²⁷ e pela falta de uma adesão efetiva do reforço de floco de vidro com a matriz polimérica, gerando espaços vazios na interface reforço/ matriz polimérica, como explicado anteriormente^{41, 81}.

Além da resistência ao impacto Charpy, este estudo também avaliou a resistência ao impacto por meio de queda livre de dardo das resinas de base Lucitone 550 (L) e Vipi Wave (V) puras ou reembasadas por elas mesmas (reembasamento mediato) ou com as resinas autopolimerizáveis Ufi Gel Hard (U) ou Tokuyama Rebase II (T), indicadas para o reembasamento do tipo imediato. Os efeitos da adição de reforço e ciclagem mecânica sobre a resistência ao impacto também foram avaliados por esse teste. No teste de queda livre de dardo, a energia necessária para fraturar o material é determinada pelo peso do dardo e pela altura de onde ele é liberado. Esse ensaio tem como objetivo simular as condições clínicas, utilizando corpos-de-prova com dimensões aproximadas às das próteses removíveis totais. Portanto, os resultados obtidos poderiam ser clinicamente mais relevantes⁴³. A principal vantagem desse teste em relação àqueles que utilizam uma máquina pendular é sua capacidade de reproduzir tensões multidirecionais sob impacto, medindo a tenacidade do material próxima àquela observada durante sua utilização^{12, 43}.

Os resultados demonstraram que não houve diferença estatisticamente significativa entre as condições experimentais L e V. Segundo Memon⁵⁵ as resinas de base polimerizadas por microondas e termopolimerizáveis convencionais apresentaram diferenças muito pequenas de resistência ao impacto. A diferença de resultados poderia ser atribuída aos diferentes ciclos de polimerização empregados para as resinas termopolimerizáveis avaliadas no presente estudo e naquele realizado por Memon et al.⁵⁵ e, conseqüentemente, à quantidade de monômero residual presente nos materiais após a polimerização⁹⁵. As resinas de base L (738,82 J) e V (758,24 J) apresentaram resultados de queda livre de dardo muito superiores aos encontrados por Kim e Watts⁴³ em uma resina de alto impacto (Lucitone 199), tanto para as próteses não reforçadas (95,9 J) quanto para as reforçadas com malha de fibra de vidro (277,9 J). Essa diferença pode ter ocorrido

devido a metodologia empregada na realização dos testes. No estudo de Kim e Watts⁴³, o dardo foi liberado diversas vezes sobre uma mesma prótese até sua fratura, enquanto no presente estudo, as próteses foram submetidas a um único impacto, anotando-se a ocorrência ou não de fratura. Assim, os diversos impactos consecutivos aplicados no estudo de Kim e Watts⁴³ podem ter sido responsáveis pelos menores valores observados de resistência final das próteses.

O reembasamento mediato, ou seja, realizado com a mesma resina não apresentou diferenças estatisticamente significantes em relação às próteses sem reembasamento. Essa igualdade pode ter ocorrido pela similaridade química entre base e reembasador², pelo tempo em que as resinas de base ficaram em contato sob pressão, na fase plástica antes da polimerização com a resina de base já polimerizada e pela alta temperatura empregada na polimerização^{94,95}.

A ciclagem mecânica, neste estudo, foi realizada com a prótese imersa em água destilada a 37° C com a carga aplicada na região dos molares⁷⁷. Não houve diferença estatisticamente significante entre as condições experimentais L (144,11 g), LC (112,61 g), V (117,11 g), VC (115,61 g), L/L (109,61 g), L/LC (109,61 g), V/V (114,11 g) e V/VC (112,61 g), ou seja, a ciclagem mecânica não causou nenhum efeito na queda livre de dardo das próteses confeccionadas somente com as resinas de base L e V ou reembasadas pelo mesmo material. Como nessas condições experimentais o material de base e o reembasador são o mesmo material, provavelmente, a interface entre eles foi difusa⁹⁴ e a prótese deve ter se comportado de maneira similar à prótese confeccionada com a resina de base L ou V sem reembasamento. A igualdade entre essas condições também pode ter ocorrido devido ao número de ciclos aos quais as próteses foram submetidas, os quais podem não ter sido suficientes para causar alterações significativas na resistência ao impacto²⁷. Seo et al.⁷⁷ observaram que a ciclagem mecânica diminuiu a resistência à flexão de próteses confeccionadas com resina polimerizada por microondas. A diferença entre os resultados pode ter ocorrido devido à diferença dos testes, visto que a resistência à flexão é um teste de baixa velocidade e a queda livre de dardo é de alta velocidade.

Independente da resina de base, as condições experimentais reembasadas com o material U (L/U 99,11 g; L/UC 97,61 g; L/URC 102,11 g) foram estatisticamente iguais entre si. Essas condições foram estatisticamente menores do que do que as condições experimentais L e V puras, exceto para L/UR que foi estatisticamente igual a L. Porém, a diferença foi pequena, de tal forma que L/U foi estatisticamente igual a L/UR (106,61 g) e menor do que L. Esses resultados podem estar relacionados com a composição do material U e também de seu agente adesivo⁸³, que pode ter proporcionado uma maior união entre esse material e a resina de base. Dessa maneira, como já foi explicado anteriormente, a trinca se iniciaria no material reembasador, que apresenta menor resistência, e ultrapassaria a interface como se a prótese reembasada fosse um material homogêneo e fraturaria a resina de base. Reis et al.⁷⁴ observaram que o reembasamento da resina Lucitone 550 como o material Ufi Gel Hard apresentou resistência à flexão estatisticamente inferior à da resina de base Lucitone 550, sendo, portanto, similar aos resultados do presente estudo.

Todas as condições experimentais da resina L reembasadas com T foram maiores do que a resina L testada isolada ou reembasada por ela mesma (L/L), com exceção das condições L/TR e L/TRC. Esses resultados demonstram que a utilização do material T para o reembasamento de bases de próteses confeccionadas com a resina L é um procedimento que mantém ou aumenta a resistência a fratura da resina de base da prótese. As condições experimentais L/T e L/TC foram estatisticamente maiores do que L/TR e L/TRC, indicando que o reforço de flocos de vidro diminuiu a resistência ao impacto no teste de queda livre de dardo para o reembasamento do material L realizado com T. Isso pode ter ocorrido, provavelmente, pela falta de aderência do reforço de floco de vidro à resina T, visto que o reforço utilizado nesse estudo não é silanizado. Dessa forma, a falta de união pode ter gerado espaços vazios na interface do reforço com a matriz polimérica, que podem ter agido como pontos de concentração de stress^{41, 81} diminuindo, assim, os valores de queda livre de dardo. Todas as condições experimentais da resina de base V reembasada com o material T apresentaram valores no teste de queda livre de dardo estatisticamente maiores do que V e V/V.

Esses resultados podem ser explicados pela união entre a resina de base V e o reembasador T, que não foi tão efetiva quanto às outras condições experimentais, como explicado anteriormente. Dessa forma, houve deflexão na da trinca na interface, tendo sido observada, em grande parte dos corpos-de-prova, delaminação, gerando um alto consumo de energia e, assim, maiores médias de resistência no teste de queda livre de dardo^{33, 34, 36, 45}. As condições experimentais V/T (147,11 g), V/TC (153,11 g), V/TR (153,11 g), V/TRC (144,11 g) não apresentaram diferenças significantes entre si. Analisando esses resultados, observa-se que a adição de reforço e a ciclagem mecânica não influenciaram na resistência ao impacto no teste de queda livre de dardo das condições experimentais da resina de base V reembasada com T, que pode ter ocorrido pela quantidade de ciclos empregado neste estudo²⁷ e pela falta de uma adesão efetiva do reforço de floco de vidro com a matriz polimérica^{33, 34, 36}.

Para analisar se havia relação entre os resultados obtidos com os corpos-de-prova simples retangulares (Charpy) e os corpos-de-prova complexos em forma de prótese (queda livre de dardo), aplicou-se uma correlação linear. A relação entre esses testes é maior quanto mais próximo de 1 for o coeficiente de correlação. Dessa forma, foi observada alta correlação entre os testes avaliados, com um coeficiente de 0,9395. As condições experimentais que mais se afastaram dessa curva de correlação foram aquelas relativas ao reembasamento realizado com o material T quando a resina de base utilizada foi a L. Esses resultados demonstram que corpos-de-prova mais simples e o teste de Charpy podem ser utilizados para a avaliação da resistência ao impacto de resinas acrílicas para base de prótese e para reembasamento imediato. Esse aspecto é particularmente importante para estudos preliminares, que tem como objetivo analisar novos materiais, e que poderiam ser realizados sem a necessidade de confecção de corpos-de-prova mais complexos que aumentam a quantidade de materiais utilizados bem como o tempo para a realização das pesquisas.

Conclusão

7 Conclusão

De acordo com as condições experimentais deste estudo, pôde-se concluir que:

- 1) A resistência ao impacto das resinas L e V permaneceu inalterada após o reembasamento com o mesmo material, independentemente do teste realizado ($P > .05$);
- 2) as médias de resistência ao impacto Charpy dos materiais autopolimerizáveis testados puros foram estatisticamente menores do que as das resinas de base L e V ($P < .05$);
- 3) as médias de resistência ao impacto Charpy para os materiais autopolimerizáveis testados puros foram estatisticamente iguais entre si, exceto, para a condição experimental URC que foi estatisticamente maior do que UR ($P < .05$);
- 4) a resistência ao impacto das condições experimentais reembasadas com o material U não apresentaram diferenças estatísticas entre si, independentemente do teste realizado ($P > .05$);
- 5) a adição de reforço aumentou significativamente a resistência ao impacto Charpy da condição experimental L/T ($P < .05$);
- 6) tanto para resistência ao impacto Charpy quanto para a queda livre de dardo, a adição de reforço e ciclagem mecânica não alterou a resistência ao impacto das condições experimentais da resina V reembasada com o material T ($P > .05$);
- 7) quando foi adicionado reforço de floco de vidro à condição experimental resina de base L reembasada com o material T, a média de queda livre de dardo diminuiu significativamente ($P < .05$);
- 8) houve alta correlação entre os testes de resistência ao impacto Charpy e queda livre de dardo, sugerindo que a confecção de corpos-de-prova simples é suficiente para avaliar a resistência ao impacto desses materiais.

Referências

8 Referências *

1. Archadian, N.; Kawano, F.; Ohguri, T.; Ichikawa, T.; Matsumi, N. Flexural strength of rebased denture polymers. *J Oral Rehabil.* 2000; 27: 690-6.
2. Arena CA, Evans DB, Hilton TJ. A comparison of bond strengths among chairside hard reline materials. *J Prosthet. Dent.* 1993; 70:126-31.
3. Arima T, Murata H, Hamada T. Analysis of composition and structure of hard autopolymerizing reline resins. *J. Oral. Rehabil.* 1996; 23: 346-52.
4. Arima T, Murata H, Hamada T. Properties of highly cross-linked autopolymerizing reline acrylic resins. *J. Prosthet. Dent.* 1995; 73: 55-9.
5. Arima T, Nikawa H, Hamada T, Harsini. Composition and effect of denture base resin surface primers for reline acrylic resins. *J Prosthet Dent.* 1996; 75: 457-62.
6. Arundati R, Patil NP. An investigation into the transverse and impact strength of a new indigenous high-impact denture base resin, DPI-TUFF and its comparison with most commonly used two denture base resins. *J Ind Prosth S.* 2006; 6: 133-8.
7. Azevedo A, Machado AL, Vergani CE, Giampaolo ET, Pavarina AC, Magnani R. Effect of disinfectants on the hardness and roughness of reline acrylic resins. *J Prosthodont.* 2006; 15: 235-42.
8. Azzarri MJ, Cortizo MS, Alessandrini JL. Effect of the curing conditions on the properties of an acrylic denture base resin microwave-polymerised. *J Dent.* 2003; 31: 463-8.

*De acordo com o estilo Vancouver. Disponível em: http://www.nlm.nih.gov/bsd/uniform_requirements.html

9. Barbosa DB, Compagnoni MA, Leles CR. Changes in occlusal vertical dimension in microwave processing of complete dentures. *Braz Dent J.* 2002; 13: 197-200.
10. Bayraktar G, Duran O, Guvener B. Effect of glass fibre reinforcement on residual methyl methacrylate content of denture base polymers. *J Dent.* 2003; 31: 297-302
11. Campanha NH, Pavarina AC, Giampaolo ET, Machado AL, Carlos IZ, Vergani CE. Cytotoxicity of hard chair-side reline resins: Effect of microwave irradiation and water-bath post-polymerization treatments. *Int J Prosthodont.* 2006; 19: 195-201.
12. Canevarolo Júnior, S.V. Resistência ao Impacto. In: _____. Técnicas de caracterização de polímeros. 1. ed. São Carlos: Ed. Artliber, 2004, p. 361-384.
13. Carlos NB; Harrison A. The effect of untreated UHMWPE beads on some properties of acrylic resin denture base material. *J Dent.* 1997; 25: 59-64.
14. Caycik S, Jagger RG. The effect of cross-linking chain length on mechanical properties of a dough-molded poly(methylmethacrylate) resin. *Dent Mater.* 1992; 8: 153-7.
15. Chai J, Takahashi Y, Kawaguchi M. The flexural strengths of denture base acrylic resins after relining with a visible-light-activated material. *Int J Prosthodont.* 1998; 11: 121-4.
16. Chen AY, Liang WM. Effects of fillers on fiber reinforced acrylic denture base resins. *Mid Taiwan J Med.* 2004; 9: 203-10.

17. Cucci AL, Vergani CE, Giampaolo ET, Afonso MC. Water sorption, solubility, and bond strength of two autopolymerizing acrylic resins and one heat-polymerizing acrylic resin. *J Prosthet Dent.* 1998; 80: 434-8.
18. Diaz-Arnold AM, Vargas MA, Shaul KL, Laffoon JE, Qian F. Flexural and fatigue strengths of denture base resin. *J Prosthet Dent.* 2008; 100: 47-51.
19. Doğan OM, Bolayir G, Keskin S, Doğan A, Bek B, Boztuğ A. The effect of esthetic fibers on impact resistance of a conventional heat-cured denture base resin. *Dent Mater J.* 2007; 26: 232-9
20. Duymus ZY, Akyil MS, Denizoglu S. An investigation of fracture loads of acrylic base plates reinforced, non-reinforced and prepared in different palatal shapes. *Atatürk Üniv Di Hek Fak Derg.* 2006; 16: 18-24.
21. El-Mahdy MH, El-Gheriani WE, Idris BA, Saad AHA. Effect of coupling agents on the important physico-mechanical properties of acrylic resin reinforced with ceramic filler. *Ainsh Dent J.* 2005; 8: 243-54.
22. El-Sheikh AM, Al-Zahrani SB. Causes of denture fracture: A survey. *Saudi Dental Journal.* 2006; 18: 149-54.
23. Faot F, Costa MA, Del Bel Cury AA, Rodrigues Garcia RC. Impact strength and fracture morphology of denture acrylic resins. *J Prosthet Dent.* 2006; 96: 367-73.
24. Franklin P, Wood DJ, Bubb NL. Reinforcement of poly (methyl methacrylate) denture base with glass flake. *Dent Mat.* 2005; 21: 362-70.
25. Fujii K. Fatigue properties of acrylic denture base resins. *Dent Mater J.* 1989; 8: 243-59.

26. Ganzarolli SM, de Mello JA, Shinkai RS, Del Bel Cury AA. Internal adaptation and some physical properties of methacrylate-based denture base resins polymerized by different techniques. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2006; 14: 169-73.
27. Hargreaves AS. The effects of cyclic stress on dental polymethylmethacrylate. II. Flexural fatigue. *J Oral Rehabil.* 1983; 10: 137-51.
28. Harrison A, Constantinidis VI, Vowles R. The effect of surface treated UHMWPE beads on some properties of acrylic resin denture base material. *Eur J Prosthodont Rest Dent.* 1997; 5: 39-42.
29. Harrison A, Magara JB, Huggett R. The effect of variation in powder particle size on the doughing and manipulation times and some mechanical properties of acrylic resin. *Eur J Prosthodont Rest Dent.* 1995; 3: 263-8.
30. Haywood J, Basker RM, Watson CJ, Wood DJ. A comparison of three hard chairside denture reline materials. Part I. Clinical Evaluation. *Eur J Prosthodont Rest Dent.* 2003; 11: 157-63.
31. International Standard Organization ISO 179: 1993 (E). Determination of Charpy impact strength. Geneva. Switzerland
32. International Standard Organization ISO 1567: 1999. Dentistry – denture base polymers. Disponível em: <http://www.iso.ch/iso/en/prods-services/ISOstore/store.html>.
33. Jagger DC, Harrison A. The effect of continuous poly (methyl methacrylate) fibres on some properties of acrylic resin denture base material. *Eur J Prosthodont Rest Dent.* 2001; 8: 135-8.

34. Jagger DC, Harrison A, Al-Marzoug K. Effect of the addition of poly (methyl methacrylate) beads on some properties of acrylic resin. *Int J Prosthodont.* 2000; 13: 378-82.
35. Jagger D., Harrison A., Jagger R., Milward P. The effect of the addition of poly (methyl methacrylate) fibres on some properties of high strength heat-cured acrylic resin denture base material. *J. Oral Rehabil.* 2003; 30: 231-5.
36. Jagger D, Harrison A, Vowles R, Jagger R. The effect of addition of surface treated chopped and continuous poly (methyl methacrylate) fibres on some properties of acrylic resin. *J Oral Rehabil.* 2001; 28: 865-72.
37. John J, Gangadhar SA, Shah I. Flexural strength of heat-polymerized polymethyl methacrylate denture resin reinforced with glass, aramid, or nylon fibers. *J Prosthet Dent.* 2001; 86: 424-7.
38. Johnston EP, Nicholls JI, Smith DE. Flexure fatigue of 10 commonly used denture base resins. *J Prosthet Dent.* 1981; 46: 478-83.
39. Khasawneh SF, Arab JM. A clinical study of complete denture fractures at four military hospitals in Jordan. *JRMS.* 2003; 10: 27-31.
40. Kanie T, Fujii K, Arikawa H, Inoue K. Flexural properties and impact strength of denture base polymer reinforced with woven glass fibers. *Dent Mater.* 2000; 16: 150-8.
41. Karacaer O, Polat TN, Tezvergil A, Lassila LV, Vallittu PK. The effect of length and concentration of glass fibers on the mechanical properties of an injection- and a compression-molded denture base polymer. *J Prosth Dent.* 2003; 90: 385-93.

42. Kelly EK. Flexure fatigue resistance of heat-curing and cold-curing polymethyl methacrylate. *J Am Dent Assoc.* 1967; 74: 1237-76.
43. Kim SH, Watts DC. The effect of reinforcement with woven E-glass fiber on the impact strength of complete dentures fabricated with high-impact acrylic resin. *J Prosthet Dent.* 2004; 91: 274-80.
44. Ladizesky NH, Cheng YY, Chow TW, Ward IM. Acrylic resin reinforced with chopped high performance polyethylene fiber - properties and denture construction. *Dent Mat.* 1993; 9: 128-35.
45. Ladizesky NH, Chow TW. The effect of interface adhesion, water immersion and anatomical notches on the mechanical properties of denture base resins reinforced with continuous high performance polyethylene fibres. *Aust Dent J.* 1992; 37: 277-89.
46. Ladizesky NH, Chow TW, Cheng YY. Denture base reinforcement using woven polyethylene fiber. *Int J Prosthodont.* 1994; 7: 307-14.
47. Ladizesky NH, Pang MK, Chow TW, Ward IM. Acrylic resins reinforced with woven highly drawn linear polyethylene fibres. 3. Mechanical properties and further aspects of denture construction. *Aust Dent J.* 1993; 38: 28-38.
48. Lai CP, Tsai MH, Chen M, Chang HS, Tay HH. Morphology and properties of denture acrylic resins cured by microwave energy and conventional water bath. *Dent Mater.* 2004; 20: 133-41.
49. Lambrecht JR, Kydd WL. A functional stress Analysis of the maxillary complete denture base. *J Prosthet Dent.* 1962; 12: 865-72.

50. Leles CR, Machado AL, Vergani CE, Giampaolo ET, Pavarina AC. Bonding strength between a hard chairside reline resin and a denture base material as influenced by surface treatment. *J Oral Rehabil.* 2001; 28: 1153-7.
51. Machado AL, Vergani CE, Giampaolo ET, Pavarina AC. Effect of a heat-treatment on the linear dimensional change of a hard chairside reline resin. *J Prosthet Dent.* 2002; 88: 611-5.
52. Marei MK, El-Sabrooty A, Ragab AY, El-Osairy MA. A study of some physical and mechanical properties of metal-filled acrylic resin. *Saudi Dental Journal.* 1994; 6: 69-77.
53. Mc Nally L, O'Sullivan, DJ, Jagger DC. An in vitro investigation of the effect of the addition of untreated and surface treated silica on the transverse and impact strength of poly(methyl methacrylate) acrylic resin. *Biomed Mater Eng.* 2006; 16: 93-100.
54. McCool JI, Boberick KG, Baran GR. Lifetime predictions for resin-based composites using cyclic and dynamic fatigue. *J Biomed Mater Res.* 2001; 58: 247-53.
55. Memon MS, Yunus N, Razak AAA. Some mechanical properties of a highly cross-linked, microwave-polymerized, injection-molded denture base polymer. *Int J Prosthodont.* 2001; 14: 214-8.
56. Mendonça MJ, Machado AL, Giampaolo ET, Pavarina AC, Vergani CE. Weight loss and surface roughness of hard chair-side reline resins after toothbrushing. Influence of post-polymerization treatments. *Int J Prosthodont.* 2006; 19: 281-7.
57. Meng TR, Latta MA. Physical properties of four acrylic denture base resins. *J Contemp Dent Pract.* 2005; 6: 93-100.

58. Minami H, Suzuki S, Minesaki Y, Kurashige H, Tanaka T. In vitro evaluation of the influence of repairing condition of denture base resin on the bonding of autopolymerizing resins. *J Prosth Dent.* 2004; 91: 164-70.
59. Musanje L, Darvell BW. Effects of strain rate and temperature on the mechanical properties of resin composites. *Dent Mater.* 2004; 20: 750-65.
60. Nagai E, Otani K, Satoh Y, Suzuki S. Repair of denture base resin using woven metal and glass fiber: effect of methylene chloride pretreatment. *J Prosthet Dent.* 2001; 85: 496-500.
61. Narva KK, Lassila LV, Vallittu PK. The static strength and modulus of fiber reinforced denture base polymer. *Dent Mater.* 2005; 21: 421-8.
62. Narva KK, Lassila LV, Vallittu PK. Flexural fatigue of denture base polymer with fiber-reinforced composite reinforcement. *Composite Part A.* 2005; 36: 1275-81.
63. Novais PM, Giampaolo ET, Vergani CE, Machado AL, Pavarina AC, Jorge JH. The occurrence of porosity in reline acrylic resins. Effect of microwave disinfection. *Gerodontology.* 2009; 26: 65-71.
64. Oku, J. Impact properties of acrylic denture base resin. Part 3 – Impact properties of cross-linked polymers. *Dent Mater J.* 1989; 8: 215-22.
65. Pavarina AC, Neppelenbroek KH, Guinesi AS, Vergani CE, Machado AL, Giampaolo ET. Effect of microwave disinfection on the flexural strength of hard chairside reline resins. *J Dent.* 2005; 33: 741-8.

66. Perez LEC, Machado AL, Canevarolo SV, Vergani CE, Giampaolo ET, Pavarina AC. Effect of relin material and denture base surface treatment on the impact strength of a denture base acrylic resin. *Gerodontology*. 2009 Mar 31. [Epub ahead of print];
67. Polat TN, Karacaer O, Tezvergil A, Lassila LV, Vallittu PK. Water sorption, solubility and dimensional changes of denture base polymers reinforced with short glass fibers. *J Biomater Appl*. 2003; 17: 321-35.
68. Polyzois GL, Handley RW, Stafford GD. Repair strength of denture base resins using various methods. *Eur J Prosthodont Rest Dent*. 1995; 3: 183-6.
69. Price CA, Earnshaw R. Impact testing of a polysulphone denture base polymer. *Aust Dent J*. 1984; 29: 398-403.
70. Price CA. The effect of cross-linking agents on the impact resistance of linear poly(methyl methacrylate) denture-base polymer. *J Dent Res*. 1986; 65: 987-92.
71. Puri G, Berzins DW, Dhuru VB, Raj PA, Rambhia SK, Dhir G, et al. Effect of phosphate group addition on the properties of denture base resins. *J Prosthet Dent*. 2008; 100: 302-8.
72. Radzi Z, Abu Kasim NH, Yahya NA, Gan SN, Daud NM, Saffai FA, et al. Impact strength of an experimental polyurethane-based polymer. *Annual Dent Univ Malaya*. 2007; 14: 45-51.
73. Reigli P, Kydd WL. A preliminary study of the lateral deformation of metal base dentures in relation to plastic base dentures. *J Prosthet Dent*. 1953; 3: 326-30.

74. Reis JM, Vergani CE, Pavarina AC, Giampaolo ET, Machado AL. Effect of relining, water storage and cyclic loading on the flexural strength of a denture base acrylic resin. *J Dent*. 2006; 34: 420-6.
75. Robinson JG, McCabe JF. Impact strength of acrylic resin denture base materials with surface defects. *Dent Mater*. 1993; 9: 355-60.
76. Scherrer SS, Wiskott AHW, Cotohunziker V, Belser UC. Monotonic flexure and fatigue strength of composites for provisional and definitive restorations. *J Prosthet Dent*. 2003; 89: 579-88.
77. Seo RS, Murata H, Hong H, Vergani CE, Hamada P. Influence of thermal and mechanical stresses on the strain of intact and relined denture base. *J Prosthet Dent*. 2006; 96: 59-67.
78. Stafford GD, Smith DC. Flexural fatigue tests of some denture base polymers. *Brit Dent J*. 1970; 128: 442-5.
79. Stafford GD, Lewis TT, Huggett R. Fatigue testing of denture base polymers. *J Oral Rehabil*. 1982; 9: 139-54.
80. Standard Test Methods. ASTM D 1709: 2001. Impact Resistance of Plastic Film by the Free-Falling Dart Method.
81. Stipho HD. Effect of glass fiber reinforcement on some mechanical properties of autopolymerizing polymethyl methacrylate. *J Prosthet Dent*. 1998; 79: 580-4.
82. Syme VJ, Lamb DJ, Lopattananon N, Ellis B, Jones FR. The effect of powder/liquid mixing ratio on the stiffness and impact strength of autopolymerising dental acrylic resins. *Eur J Prosthodont Restor Dent*. 2001; 9: 87-91.

83. Takahashi Y, Chai J. Assessment of shear bond strength between three denture relined materials and a denture base acrylic resin. *Int J Prosthodont.* 2001; 14: 531-5.
84. Takahashi Y, Chai J. Shear bond strength of denture relined polymers to denture base polymers. *Int J Prosthodont.* 2001; 14: 271-5.
85. Unalan F, Dikbas I. Effects of mica and glass on surface hardness of acrylic tooth material. *Dent Mater J.* 2007; 26: 545-8.
86. Urban VM, Machado AL, Oliveira RV, Vergani CE, Pavarina AC, Cass QB. Residual monomer of relined acrylic resins. Effect of water-bath and microwave post-polymerization treatments. *Dent Mater.* 2007; 23: 363-8.
87. Uzun G, Hersek N. Comparison of the fracture resistance of six denture base acrylic resins. *J Biomater Appl.* 2002; 17: 19-29.
88. Uzun G, Hersek N, Tinçer T. Effect of five woven fiber reinforcements on the impact and transverse strength of a denture base resin. *J Prosthet Dent.* 1999; 81: 616-20.
89. Vallittu PK. Flexural properties of acrylic resin polymers reinforced with unidirectional and woven glass fibers. *J Prosthet Dent.* 1999; 81: 318-26.
90. Vallittu PK, Alakuijala P, Lassila VP, Lappalainen R. In vitro fatigue fracture of an acrylic resin-based partial denture: an exploratory study. *J Prosthet Dent.* 1994; 72: 289-85.

91. Vallittu PK, Lassila VP, Lappalainen NR. The effect of notch shape and self-cured acrylic resin repair on the fatigue resistance of an acrylic resin denture base. *J Oral Rehabil.* 1996; 23:108-13.
92. Vallittu PK, Lassila VP, Lappalainen R. Wetting the repair surface with methyl methacrylate affects the transverse strength of repaired heat-polymerized resin. *J Prosthet Dent.* 1994; 72: 639-43.
93. Vallittu PK, Narva K. Impact strength of a modified continuous glass fiber-poly (methyl methacrylate). *Int J Prosthodont.* 1997; 10:142-8.
94. Vallittu PK, Ruyter IE. The swelling phenomenon of acrylic resin polymer teeth at the interface with denture base polymers. *J Prosthet Dent.* 1997; 78:194-9.
95. Vallittu PK, Ruyter IE. Swelling of poly (methyl methacrylate) resin at the repair joint. *Int J Prosthodont.* 1997; 10: 254-8.
96. Vallittu PK, Vojtkova H, Lassila VP. Impact strength of denture polymethyl methacrylate reinforced with continuous glass fibers or metal wire. *Acta Odontol Scand* 1995; 53: 392-6.
97. Vergani CE, Seo RS, Pavarina AC, dos Santos Nunes Reis JM. Flexural strength of autopolymerizing denture reline resins with microwave postpolymerization treatment. *J Prosthet Dent.* 2005; 93: 577-83.
98. Vila MM, Ginebra MP, Gil FJ, Planell JA. Effect of porosity and environment on the mechanical behavior of acrylic bone cement modified with acrylonitrile-butadiene-styrene particles: part II. Fatigue crack propagation. *J Biomed Mater Res.* 1999; 48:128-34.

- 99.** Yilmaz C, Korkmaz T. The reinforcement effect of nano and microfillers on fracture toughness of two provisional resin materials. *Mater Desig.* 2007; 28: 2063-70.

- 100.** Zappini G, Kammann A, Wachter W. Comparison of fracture tests of denture base materials. *J Prosth Dent.* 2003; 90: 578-85.

A pênndice

Apêndice

Tabela 1 - Limite de proporcionalidade (N), obtidos em testes de flexão, das amostras intactas e das reembasadas com os materiais autopolimerizáveis

Corpo- de- prova	Condições experimentais															
	Sem reforço								Com reforço							
	L	V	U	T	L/T	L/U	V/U	V/T	L	V	U	T	L/T	L/U	V/U	V/T
1	23,34	68,91	15,82	20,59	34,94	20,16	22,80	44,27	*	*	21,22	20,11	17,96	28,32	16,91	30,23
2	39,64	65,29	10,89	16,50	26,16	32,98	32,88	41,62	*	*	10,98	21,11	26,51	15,21	18,57	27,93
3	36,95	61,00	17,16	12,74	26,47	18,71	29,23	36,04	*	*	22,81	17,12	20,81	22,49	13,25	28,96
4	35,64	62,51	16,41	20,10	24,92	27,53	26,00	39,25	*	*	16,43	24,30	21,74	25,63	15,51	29,99
5	37,18	62,35	22,43	18,02	27,67	25,33	21,17	40,34	*	*	16,09	17,97	28,78	25,70	13,25	36,69
6	34,85	60,52	20,34	11,14	22,44	24,71	23,23	33,44	*	*	22,70	17,21	19,46	23,93	15,51	33,49
7	38,79	59,87	19,29	12,09	28,09	23,26	25,95	41,70	*	*	18,62	18,86	26,60	20,56	14,01	32,32
8	37,04	61,38	18,25	17,43	26,92	26,78	28,95	43,30	*	*	17,80	19,69	22,58	23,39	19,87	27,03
Média	36,55	62,73	17,57	16,08	27,20	24,93	26,28	40,00	*	*	18,33	19,55	23,06	23,15	15,56	30,83
Desvio- padrão	2,29	3,00	3,46	3,66	3,60	4,46	3,91	3,67	*	*	3,97	2,38	3,84	3,97	2,44	3,19

*- Condição experimental não testada – o reforço foi avaliado somente nos materiais reembasadores e não na resina utilizada na confecção das bases

Tabela 2 - Resultados do limite de proporcionalidade (N) (teste em flexão) das amostras reembasadas com as resinas de base

Corpo- de- prova	Condições experimentais			
	Sem reforço		Com reforço	
	L/L	V/V	L/L	V/V
1	36,27	68,10	*	*
2	33,34	69,15	*	*
3	34,01	66,78	*	*
4	34,37	65,46	*	*
5	27,67	61,26	*	*
6	34,00	65,28	*	*
7	36,32	70,13	*	*
8	28,49	59,98	*	*
Média	33,06	65,77	*	*
Desvio- padrão	3,26	3,61	*	*

*- não avaliado somente nos materiais reembasadores e não na resina utilizada na confecção das bases. Condição experimental testada – o reforço foi

Tabela 3 - Resultados de resistência ao impacto (kJ/m^2) dos materiais testados intactos

Corpo-de-prova	Condições experimentais															
	Sem reforço e sem ciclagem				Com reforço e sem ciclagem				Sem reforço e com ciclagem				Com reforço e com ciclagem			
	L	V	U	T	L	V	U	T	L	V	U	T	L	V	U	T
1	1,57	1,68	0,49	0,64	*	*	0,52	0,67	1,69	1,56	0,83	0,83	*	*	0,85	0,83
2	1,77	2,23	0,75	0,44	*	*	0,63	0,73	1,43	1,78	0,84	0,82	*	*	1,00	0,82
3	1,16	1,59	0,43	0,56	*	*	0,49	0,55	1,78	1,69	0,93	0,62	*	*	0,88	0,62
4	1,98	1,44	0,48	0,57	*	*	0,73	0,52	1,38	2,29	0,93	0,82	*	*	0,85	0,82
5	1,15	2,73	0,60	0,58	*	*	0,57	0,72	1,51	1,12	0,91	0,41	*	*	0,89	0,62
6	1,86	1,02	0,48	0,66	*	*	0,69	0,69	1,81	1,05	0,46	0,51	*	*	0,83	1,03
7	1,55	1,49	0,72	0,74	*	*	0,57	0,61	1,48	1,58	0,42	0,98	*	*	0,63	0,98
8	1,55	1,62	0,67	0,83	*	*	0,66	0,66	1,55	1,98	0,95	0,48	*	*	0,72	0,52
9	1,31	1,86	0,72	0,73	*	*	0,52	0,62	1,52	1,82	0,94	0,63	*	*	0,74	0,61
10	1,40	1,78	0,79	0,83	*	*	0,52	0,69	1,35	2,25	0,51	0,66	*	*	0,76	0,63
Média	1,53	1,74	0,61	0,66	*	*	0,59	0,65	1,55	1,71	0,77	0,68	*	*	0,82	0,75
Desvio-padrão	0,28	0,47	0,13	0,13	*	*	0,08	0,07	0,16	0,41	0,22	0,18	*	*	0,10	0,17

*- Condição experimental não testada – o reforço foi avaliado somente nos materiais reembasadores e não na resina utilizada na confecção das bases.

Tabela 4 - Resultados de resistência ao impacto (kJ/m^2) das resinas de base reembasadas com os materiais autopolimerizáveis

Corpo- de- prova	Condições experimentais															
	Sem reforço e sem ciclagem				Com reforço e sem ciclagem				Sem reforço e com ciclagem				Com reforço e com ciclagem			
	L/T	L/U	V/T	V/U	L/T	L/U	V/T	V/U	L/T	L/U	V/T	V/U	L/T	L/U	V/T	V/U
1	4,48	0,85	7,08	1,00	7,79	0,73	8,89	1,21	6,10	0,83	7,89	0,62	6,96	0,74	8,32	0,94
2	4,47	0,87	9,03	1,05	7,89	0,73	7,53	0,87	4,52	0,78	8,65	0,74	5,99	0,93	7,62	0,86
3	4,81	0,68	8,74	0,86	6,21	0,73	6,58	0,89	5,21	0,98	7,61	0,86	5,99	0,83	8,21	0,88
4	6,53	0,88	7,35	0,87	8,36	0,81	7,95	0,87	7,42	0,82	9,12	0,6	5,52	0,95	7,95	1,02
5	4,05	0,83	8,02	0,68	7,03	0,79	9,23	0,75	5,50	0,96	8,54	0,79	6,71	0,89	7,82	0,96
6	3,87	0,57	8,96	0,60	5,98	0,84	8,23	0,85	6,32	0,46	8,34	0,59	5,57	0,95	8,65	0,72
7	4,83	0,74	9,21	0,84	6,35	0,72	8,45	0,83	4,86	0,94	8,93	1,02	5,92	0,89	8,28	0,95
8	4,21	0,83	8,02	1,24	6,13	0,84	8,79	0,69	6,35	0,95	8,32	0,99	5,21	0,93	9,01	0,87
9	5,11	0,77	8,76	0,92	6,95	0,76	8,15	0,75	4,92	0,75	7,99	0,87	6,02	0,88	7,35	0,79
10	4,28	0,79	8,92	0,87	7,01	0,77	8,22	0,87	4,82	0,72	8,66	0,95	5,98	0,90	8,20	0,81
Média	4,66	0,78	8,41	0,89	6,97	0,77	8,20	0,86	5,60	0,82	8,41	0,80	5,99	0,89	8,14	0,88
Desvio-padrão	0,76	0,10	0,75	0,18	0,82	0,05	0,75	0,14	0,92	0,16	0,47	0,16	0,52	0,06	0,48	0,09

Tabela 5 - Resultados de resistência ao impacto (kJ/m^2) das amostras reembasadas com as resinas de base

Corpo-de-prova	Condições experimentais			
	Sem reforço e sem ciclagem		Sem reforço e com ciclagem	
	L/L	V/V	L/L	V/V
1	2,00	1,28	1,56	1,97
2	1,73	1,96	2,00	1,59
3	1,21	1,64	1,37	1,62
4	1,61	1,68	1,31	2,15
5	1,34	1,36	1,66	1,25
6	1,33	2,24	1,66	1,39
7	1,37	1,57	1,35	1,84
8	1,52	1,67	1,61	1,42
9	0,97	1,69	1,56	1,64
10	1,25	1,71	1,57	1,68
Média	1,43	1,68	1,57	1,66
Desvio-padrão	0,29	0,27	0,20	0,27

Tabela 6 – Diferença entre as médias de resistência ao impacto Charpy (condição experimental L)

(I) Agrupamento	(J) Agrupamento	Diferença entre Médias (I-J)	Desvio Padrão	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
L	V	-.21400	.17209	-1.0929	.6649
	U	.91700(*)	.09879	.4125	1.4215
	T	.87200(*)	.09777	.3727	1.3713
	L/L	.09700	.12856	-.5595	.7535
	V/V	-.15000	.12415	-.7840	.4840
	L/U	.74900(*)	.09439	.2669	1.2311
	L/T	-3.13400(*)	.25561	-4.4394	-1.8286
	V/U	.63700(*)	.10601	.0956	1.1784
	V/T	-6.87900(*)	.25239	-8.1679	-5.5901
	LC	-.02000	.10268	-.5444	.5044
	VC	-.18200	.15844	-.9912	.6272
	UC	.75800(*)	.11278	.1820	1.3340
	TC	.85400(*)	.10635	.3109	1.3971
	L/LC	-.03500	.10937	-.5936	.5236
	V/VC	-.12500	.12438	-.7602	.5102
	L/UC	.71100(*)	.10224	.1889	1.2331
	L/TC	-4.07200(*)	.30383	-5.6236	-2.5204
	V/UC	.72700(*)	.10294	.2013	1.2527
	V/TC	-6.87500(*)	.17413	-7.7643	-5.9857
	UR	.94000(*)	.09307	.4647	1.4153
	TR	.88400(*)	.09203	.4140	1.3540
	L/UR	.75800(*)	.09050	.2958	1.2202
	L/TR	-5.44000(*)	.27532	-6.8461	-4.0339
	V/UR	.67200(*)	.09976	.1625	1.1815
	V/TR	-6.67200(*)	.25397	-7.9690	-5.3750
	URC	.71500(*)	.09526	.2285	1.2015
	TRC	.78200(*)	.10468	.2474	1.3166
	L/URC	.64100(*)	.09157	.1733	1.1087
	L/TRC	-4.45700(*)	.18823	-5.4183	-3.4957
	V/URC	.65000(*)	.09378	.1710	1.1290
V/TRC	-6.61100(*)	.17728	-7.5164	-5.7056	

* Diferenças entre médias significante ao nível de 0,05.

Tabela 7 – Diferença entre as médias de resistência ao impacto Charpy (condição experimental V)

(I) Agrupamento	(J) Agrupamento	Diferença entre Médias (I-J)	Desvio Padrão	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
V	U	1.13100(*)	.15304	.3494	1.9126
	T	1.08600(*)	.15238	.3078	1.8642
	L/L	.31100	.17374	-.5763	1.1983
	V/V	.06400	.17051	-.8068	.9348
	L/U	.96300(*)	.15023	.1958	1.7302
	L/T	-2.92000(*)	.28106	-4.3554	-1.4846
	V/U	.85100(*)	.15779	.0452	1.6568
	V/T	-6.66500(*)	.27814	-8.0854	-5.2446
	LC	.19400	.15557	-.6005	.9885
	VC	.03200	.19689	-.9735	1.0375
	UC	.97200(*)	.16242	.1425	1.8015
	TC	1.06800(*)	.15802	.2610	1.8750
	L/LC	.17900	.16007	-.6385	.9965
	V/VC	.08900	.17067	-.7826	.9606
	L/UC	.92500(*)	.15528	.1320	1.7180
	L/TC	-3.85800(*)	.32554	-5.5205	-2.1955
	V/UC	.94100(*)	.15574	.1456	1.7364
	V/TC	-6.66100(*)	.20972	-7.7320	-5.5900
	UR	1.15400(*)	.14941	.3910	1.9170
	TR	1.09800(*)	.14876	.3383	1.8577
	L/UR	.97200(*)	.14782	.2171	1.7269
	L/TR	-5.22600(*)	.29910	-6.7535	-3.6985
	V/UR	.88600(*)	.15367	.1012	1.6708
	V/TR	-6.45800(*)	.27958	-7.8858	-5.0302
	URC	.92900(*)	.15078	.1590	1.6990
	TRC	.99600(*)	.15690	.1947	1.7973
	L/URC	.85500(*)	.14848	.0967	1.6133
	L/TRC	-4.24300(*)	.22157	-5.3745	-3.1115
	V/URC	.86400(*)	.14985	.0987	1.6293
	V/TRC	-6.39700(*)	.21234	-7.4814	-5.3126

* Diferenças entre médias significante ao nível de 0,05.

Tabela 8 – Diferença entre as médias de resistência ao impacto Charpy (condição experimental U)

(I) Agrupamento	(J) Agrupamento	Diferença entre Médias (I-J)	Desvio Padrão	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
U	T	-.04500	.05800	-.3412	.2512
	L/L	-.82000(*)	.10164	-1.3391	-.3009
	V/V	-1.06700(*)	.09601	-1.5573	-.5767
	L/U	-.16800	.05210	-.4341	.0981
	L/T	-4.05100(*)	.24319	-5.2930	-2.8090
	V/U	-.28000	.07101	-.6426	.0826
	V/T	-7.79600(*)	.23980	-9.0207	-6.5713
	LC	-.93700(*)	.06593	-1.2737	-.6003
	VC	-1.09900(*)	.13751	-1.8012	-.3968
	UC	-.15900	.08077	-.5715	.2535
	TC	-.06300	.07151	-.4282	.3022
	L/LC	-.95200(*)	.07594	-1.3398	-.5642
	V/VC	-1.04200(*)	.09630	-1.5338	-.5502
	L/UC	-.20600	.06524	-.5392	.1272
	L/TC	-4.98900(*)	.29346	-6.4877	-3.4903
	V/UC	-.19000	.06633	-.5288	.1488
	V/TC	-7.79200(*)	.15533	-8.5853	-6.9987
	UR	.02300	.04967	-.2306	.2766
	TR	-.03300	.04769	-.2765	.2105
	L/UR	-.15900	.04467	-.3871	.0691
	L/TR	-6.35700(*)	.26383	-7.7044	-5.0096
	V/UR	-.24500	.06130	-.5580	.0680
	V/TR	-7.58900(*)	.24147	-8.8222	-6.3558
	URC	-.20200	.05365	-.4760	.0720
	TRC	-.13500	.06901	-.4874	.2174
	L/URC	-.27600(*)	.04680	-.5150	-.0370
	L/TRC	-5.37400(*)	.17098	-6.2472	-4.5008
	V/URC	-.26700(*)	.05099	-.5274	-.0066
	V/TRC	-7.52800(*)	.15885	-8.3392	-6.7168

* Diferenças entre médias significante ao nível de 0,05.

Tabela 9 – Diferença entre as médias de resistência ao impacto Charpy (condição experimental T)

(I) Agrupamento	(J) Agrupamento	Diferença entre Médias (I-J)	Desvio Padrão	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
T	L/L	-7.7500(*)	.10065	-1.2890	-.2610
	V/V	-1.02200(*)	.09496	-1.5070	-.5370
	L/U	-.12300	.05014	-.3791	.1331
	L/T	-4.00600(*)	.24278	-5.2458	-2.7662
	V/U	-.23500	.06958	-.5904	.1204
	V/T	-7.75100(*)	.23938	-8.9735	-6.5285
	LC	-.89200(*)	.06439	-1.2208	-.5632
	VC	-1.05400(*)	.13678	-1.7525	-.3555
	UC	-.11400	.07952	-.5201	.2921
	TC	-.01800	.07010	-.3760	.3400
	L/LC	-.90700(*)	.07461	-1.2880	-.5260
	V/VC	-.99700(*)	.09525	-1.4835	-.5105
	L/UC	-.16100	.06369	-.4862	.1642
	L/TC	-4.94400(*)	.29312	-6.4409	-3.4471
	V/UC	-.14500	.06480	-.4760	.1860
	V/TC	-7.74700(*)	.15468	-8.5370	-6.9570
	UR	.06800	.04760	-.1751	.3111
	TR	.01200	.04553	-.2205	.2445
	L/UR	-.11400	.04236	-.3303	.1023
	L/TR	-6.31200(*)	.26345	-7.6574	-4.9666
	V/UR	-.20000	.05964	-.5046	.1046
	V/TR	-7.54400(*)	.24105	-8.7750	-6.3130
	URC	-.15700	.05175	-.4213	.1073
	TRC	-.09000	.06754	-.4349	.2549
	L/URC	-.23100(*)	.04460	-.4588	-.0032
	L/TRC	-5.32900(*)	.17040	-6.1992	-4.4588
	V/URC	-.22200	.04899	-.4722	.0282
	V/TRC	-7.48300(*)	.15821	-8.2910	-6.6750

* Diferenças entre médias significante ao nível de 0,05.

Tabela 10 – Diferença entre as médias de resistência ao impacto Charpy (condição experimental L/L)

(I) Agrupamento	(J) Agrupamento	Diferença entre Médias (I-J)	Desvio Padrão	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
L/L	V/V	-.24700	.12643	-.8927	.3987
	L/U	.65200(*)	.09737	.1547	1.1493
	L/T	-3.23100(*)	.25672	-4.5421	-1.9199
	V/U	.54000	.10867	-.0150	1.0950
	V/T	-6.97600(*)	.25352	-8.2707	-5.6813
	LC	-.11700	.10542	-.6554	.4214
	VC	-.27900	.16023	-1.0973	.5393
	UC	.66100(*)	.11529	.0722	1.2498
	TC	.75700(*)	.10900	.2004	1.3136
	L/LC	-.13200	.11196	-.7038	.4398
	V/VC	-.22200	.12665	-.8688	.4248
	L/UC	.61400(*)	.10499	.0778	1.1502
	L/TC	-4.16900(*)	.30477	-5.7254	-2.6126
	V/UC	.63000(*)	.10567	.0903	1.1697
	V/TC	-6.97200(*)	.17577	-7.8696	-6.0744
	UR	.84300(*)	.09609	.3523	1.3337
	TR	.78700(*)	.09508	.3014	1.2726
	L/UR	.66100(*)	.09360	.1830	1.1390
	L/TR	-5.53700(*)	.27636	-6.9483	-4.1257
	V/UR	.57500(*)	.10259	.0511	1.0989
	V/TR	-6.76900(*)	.25509	-8.0718	-5.4662
	URC	.61800(*)	.09821	.1164	1.1196
	TRC	.68500(*)	.10737	.1367	1.2333
	L/URC	.54400(*)	.09464	.0607	1.0273
	L/TRC	-4.55400(*)	.18974	-5.5230	-3.5850
	V/URC	.55300(*)	.09678	.0587	1.0473
	V/TRC	-6.70800(*)	.17888	-7.6215	-5.7945

* Diferenças entre médias significante ao nível de 0,05.

Tabela 11 – Diferença entre as médias de resistência ao impacto Charpy (condição experimental V/V)

(I) Agrupamento	(J) Agrupamento	Diferença entre Médias (I-J)	Desvio Padrão	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
V/V	L/U	.89900(*)	.09147	.4318	1.3662
	L/T	-2.98400(*)	.25455	-4.2840	-1.6840
	V/U	.78700(*)	.10342	.2588	1.3152
	V/T	-6.72900(*)	.25131	-8.0124	-5.4456
	LC	.13000	.10000	-.3807	.6407
	VC	-.03200	.15672	-.8324	.7684
	UC	.90800(*)	.11035	.3444	1.4716
	TC	1.00400(*)	.10376	.4741	1.5339
	L/LC	.11500	.10687	-.4308	.6608
	V/VC	.02500	.12218	-.5990	.6490
	L/UC	.86100(*)	.09955	.3526	1.3694
	L/TC	-3.92200(*)	.30294	-5.4691	-2.3749
	V/UC	.87700(*)	.10027	.3649	1.3891
	V/TC	-6.72500(*)	.17257	-7.6063	-5.8437
	UR	1.09000(*)	.09011	.6298	1.5502
	TR	1.03400(*)	.08903	.5793	1.4887
	L/UR	.90800(*)	.08746	.4614	1.3546
	L/TR	-5.29000(*)	.27434	-6.6910	-3.8890
	V/UR	.82200(*)	.09701	.3266	1.3174
	V/TR	-6.52200(*)	.25290	-7.8136	-5.2304
	URC	.86500(*)	.09237	.3933	1.3367
	TRC	.93200(*)	.10205	.4108	1.4532
	L/URC	.79100(*)	.08856	.3387	1.2433
	L/TRC	-4.30700(*)	.18679	-5.2609	-3.3531
	V/URC	.80000(*)	.09085	.3360	1.2640
	V/TRC	-6.46100(*)	.17574	-7.3585	-5.5635

* Diferenças entre médias significante ao nível de 0,05.

Tabela 12 – Diferença entre as médias de resistência ao impacto Charpy (condição experimental L/U)

(I) Agrupamento	(J) Agrupamento	Diferença entre Médias (I-J)	Desvio Padrão	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
L/U	L/T	-.74900(*)	.24143	-5.1160	-2.6500
	V/U	-.96300(*)	.06475	-.4427	.2187
	V/T	.16800	.23802	-8.8436	-6.4124
	LC	.12300	.05913	-1.0710	-.4670
	VC	-.65200(*)	.13438	-1.6173	-.2447
	UC	-.89900(*)	.07533	-.3757	.3937
	TC	-3.88300(*)	.06530	-.2285	.4385
	L/LC	-.11200	.07012	-1.1421	-.4259
	V/VC	-7.62800(*)	.09178	-1.3427	-.4053
	L/UC	-.76900(*)	.05836	-.3361	.2601
	L/TC	-.93100(*)	.29201	-6.3123	-3.3297
	V/UC	.00900	.05958	-.3263	.2823
	V/TC	.10500	.15257	-8.4032	-6.8448
	UR	-.78400(*)	.04021	-.0143	.3963
	TR	-.87400(*)	.03773	-.0577	.3277
	L/UR	-.03800	.03384	-.1638	.1818
	L/TR	-4.82100(*)	.26221	-7.5281	-4.8499
	V/UR	-.02200	.05392	-.3524	.1984
	V/TR	-7.62400(*)	.23970	-8.6451	-6.1969
	URC	.19100	.04504	-.2640	.1960
	TRC	.13500	.06254	-.2864	.3524
	L/URC	.00900	.03660	-.2949	.0789
	L/TRC	-6.18900(*)	.16848	-6.0664	-4.3456
	V/URC	-.07700	.04183	-.3126	.1146
V/TRC	-7.42100(*)	.15615	-8.1574	-6.5626	

* Diferenças entre médias significante ao nível de 0,05.

Tabela 13 – Diferença entre as médias de resistência ao impacto Charpy (condição experimental L/T)

(I) Agrupamento	(J) Agrupamento	Diferença entre Médias (I-J)	Desvio Padrão	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
L/T	V/U	3.77100(*)	.24621	2.5136	5.0284
	V/T	-3.74500(*)	.33628	-5.4623	-2.0277
	LC	3.11400(*)	.24479	1.8639	4.3641
	VC	2.95200(*)	.27292	1.5582	4.3458
	UC	3.89200(*)	.24920	2.6194	5.1646
	TC	3.98800(*)	.24635	2.7299	5.2461
	L/LC	3.09900(*)	.24768	1.8341	4.3639
	V/VC	3.00900(*)	.25466	1.7085	4.3095
	L/UC	3.84500(*)	.24461	2.5958	5.0942
	L/TC	-.93800	.37642	-2.8604	.9844
	V/UC	3.86100(*)	.24490	2.6103	5.1117
	V/TC	-3.74100(*)	.28232	-5.1828	-2.2992
	UR	4.07400(*)	.24092	2.8436	5.3044
	TR	4.01800(*)	.24052	2.7897	5.2463
	L/UR	3.89200(*)	.23994	2.6666	5.1174
	L/TR	-2.30600(*)	.35381	-4.1129	-.4991
	V/UR	3.80600(*)	.24358	2.5620	5.0500
	V/TR	-3.53800(*)	.33746	-5.2614	-1.8146
	URC	3.84900(*)	.24177	2.6143	5.0837
	TRC	3.91600(*)	.24564	2.6615	5.1705
	L/URC	3.77500(*)	.24035	2.5476	5.0024
	L/TRC	-1.32300	.29122	-2.8103	.1643
	V/URC	3.78400(*)	.24120	2.5522	5.0158
	V/TRC	-3.47700(*)	.28427	-4.9287	-2.0253

* Diferenças entre médias significante ao nível de 0,05.

Tabela 14 – Diferença entre as médias de resistência ao impacto Charpy (condição experimental V/U)

(I) Agrupamento	(J) Agrupamento	Diferença entre Médias (I-J)	Desvio Padrão	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
V/U	V/T	-7.51600(*)	.24286	-8.7563	-6.2757
	LC	-.65700(*)	.07632	-1.0468	-.2672
	VC	-.81900(*)	.14278	-1.5482	-.0898
	UC	.12100	.08945	-.3358	.5778
	TC	.21700	.08119	-.1976	.6316
	L/LC	-.67200(*)	.08512	-1.1067	-.2373
	V/VC	-.76200(*)	.10369	-1.2915	-.2325
	L/UC	.07400	.07573	-.3127	.4607
	L/TC	-4.70900(*)	.29596	-6.2205	-3.1975
	V/UC	.09000	.07667	-.3015	.4815
	V/TC	-7.51200(*)	.16002	-8.3292	-6.6948
	UR	.30300	.06281	-.0177	.6237
	TR	.24700	.06125	-.0658	.5598
	L/UR	.12100	.05893	-.1800	.4220
	L/TR	-6.07700(*)	.26662	-7.4386	-4.7154
	V/UR	.03500	.07235	-.3345	.4045
	V/TR	-7.30900(*)	.24451	-8.5577	-6.0603
	URC	.07800	.06600	-.2591	.4151
	TRC	.14500	.07899	-.2584	.5484
	L/URC	.00400	.06056	-.3053	.3133
	L/TRC	-5.09400(*)	.17525	-5.9890	-4.1990
	V/URC	.01300	.06386	-.3131	.3391
	V/TRC	-7.24800(*)	.16343	-8.0826	-6.4134

* Diferenças entre médias significante ao nível de 0,05.

Tabela 15 – Diferença entre as médias de resistência ao impacto Charpy (condição experimental V/T)

(I) Agrupamento	(J) Agrupamento	Diferença entre Médias (I-J)	Desvio Padrão	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
V/T	LC	6.85900(*)	.24143	5.6260	8.0920
	VC	6.69700(*)	.26991	5.3186	8.0754
	UC	7.63700(*)	.24590	6.3812	8.8928
	TC	7.73300(*)	.24301	6.4919	8.9741
	L/LC	6.84400(*)	.24435	5.5961	8.0919
	V/VC	6.75400(*)	.25143	5.4700	8.0380
	L/UC	7.59000(*)	.24124	6.3580	8.8220
	L/TC	2.80700(*)	.37424	.8958	4.7182
	V/UC	7.60600(*)	.24154	6.3725	8.8395
	V/TC	.00400	.27941	-1.4229	1.4309
	UR	7.81900(*)	.23750	6.6061	9.0319
	TR	7.76300(*)	.23710	6.5522	8.9738
	L/UR	7.63700(*)	.23651	6.4292	8.8448
	L/TR	1.43900	.35149	-.3561	3.2341
	V/UR	7.55100(*)	.24020	6.3243	8.7777
	V/TR	.20700	.33503	-1.5040	1.9180
	URC	7.59400(*)	.23837	6.3767	8.8113
	TRC	7.66100(*)	.24229	6.4237	8.8983
	L/URC	7.52000(*)	.23692	6.3101	8.7299
	L/TRC	2.42200(*)	.28840	.9491	3.8949
V/URC	7.52900(*)	.23778	6.3147	8.7433	
V/TRC	.26800	.28138	-1.1690	1.7050	

* Diferenças entre médias significante ao nível de 0,05.

Tabela 16 – Diferença entre as médias de resistência ao impacto Charpy (condição experimental LC)

(I) Agrupamento	(J) Agrupamento	Diferença entre Médias (I-J)	Desvio Padrão	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
LC	VC	-.16200	.14032	-.8786	.5546
	UC	.77800(*)	.08548	.3415	1.2145
	TC	.87400(*)	.07679	.4819	1.2661
	L/LC	-.01500	.08093	-.4283	.3983
	V/VC	-.10500	.10028	-.6171	.4071
	L/UC	.73100(*)	.07098	.3685	1.0935
	L/TC	-4.05200(*)	.29479	-5.5575	-2.5465
	V/UC	.74700(*)	.07199	.3794	1.1146
	V/TC	-6.85500(*)	.15783	-7.6610	-6.0490
	UR	.96000(*)	.05700	.6689	1.2511
	TR	.90400(*)	.05528	.6217	1.1863
	L/UR	.77800(*)	.05270	.5089	1.0471
	L/TR	-5.42000(*)	.26531	-6.7749	-4.0651
	V/UR	.69200(*)	.06738	.3479	1.0361
	V/TR	-6.65200(*)	.24308	-7.8934	-5.4106
	URC	.73500(*)	.06050	.4260	1.0440
	TRC	.80200(*)	.07446	.4217	1.1823
	L/URC	.66100(*)	.05452	.3826	.9394
	L/TRC	-4.43700(*)	.17326	-5.3218	-3.5522
	V/URC	.67000(*)	.05816	.3730	.9670
V/TRC	-6.59100(*)	.16129	-7.4147	-5.7673	

* Diferenças entre médias significante ao nível de 0,05.

Tabela 17 – Diferença entre as médias de resistência ao impacto Charpy (condição experimental VC)

(I) Agrupamento	(J) Agrupamento	Diferença entre Médias (I-J)	Desvio Padrão	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
VC	UC	.94000(*)	.14788	.1848	1.6952
	TC	1.03600(*)	.14303	.3055	1.7665
	L/LC	.14700	.14530	-.5950	.8890
	V/VC	.05700	.15690	-.7443	.8583
	L/UC	.89300(*)	.14000	.1780	1.6080
	L/TC	-3.89000(*)	.31853	-5.5167	-2.2633
	V/UC	.90900(*)	.14051	.1914	1.6266
	V/TC	-6.69300(*)	.19867	-7.7076	-5.6784
	UR	1.12200(*)	.13346	.4404	1.8036
	TR	1.06600(*)	.13273	.3881	1.7439
	L/UR	.94000(*)	.13168	.2675	1.6125
	L/TR	-5.25800(*)	.29146	-6.7465	-3.7695
	V/UR	.85400(*)	.13821	.1482	1.5598
	V/TR	-6.49000(*)	.27139	-7.8760	-5.1040
	URC	.89700(*)	.13499	.2076	1.5864
	TRC	.96400(*)	.14179	.2399	1.6881
	L/URC	.82300(*)	.13242	.1468	1.4992
	L/TRC	-4.27500(*)	.21114	-5.3533	-3.1967
	V/URC	.83200(*)	.13396	.1479	1.5161
	V/TRC	-6.42900(*)	.20144	-7.4577	-5.4003

* Diferenças entre médias significante ao nível de 0,05.

Tabela 18 – Diferença entre as médias de resistência ao impacto Charpy (condição experimental UC)

(I) Agrupamento	(J) Agrupamento	Diferença entre Médias (I-J)	Desvio Padrão	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
UC	TC	.11400	.08985	-.3629	.5549
	L/LC	-.66100(*)	.09342	-1.2701	-.3159
	V/VC	-.90800(*)	.11060	-1.4479	-.3181
	L/UC	-.00900	.08495	-.4808	.3868
	L/TC	-3.89200(*)	.29846	-6.3542	-3.3058
	V/UC	-.12100	.08579	-.4691	.4071
	V/TC	-7.63700(*)	.16458	-8.4735	-6.7925
	UR	-.77800(*)	.07366	-.1942	.5582
	TR	-.94000(*)	.07234	-.2434	.4954
	L/UR	.09600	.07039	-.3595	.3595
	L/TR	-.79300(*)	.26938	-7.5737	-4.8223
	V/UR	-.88300(*)	.08196	-.5045	.3325
	V/TR	-.04700	.24752	-8.6941	-6.1659
	URC	-4.83000(*)	.07641	-.4332	.3472
	TRC	-.03100	.08787	-.4248	.4728
	L/URC	-7.63300(*)	.07176	-.4835	.2495
	L/TRC	.18200	.17943	-6.1313	-4.2987
	V/URC	.12600	.07456	-.4888	.2728
	V/TRC	.00000	.16790	-8.2265	-6.5115

* Diferenças entre médias significante ao nível de 0,05.

Tabela 19 – Diferença entre as médias de resistência ao impacto Charpy (condição experimental TC)

(I) Agrupamento	(J) Agrupamento	Diferença entre Médias (I-J)	Desvio Padrão	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
TC	L/LC	-88900(*)	.08554	-1.3258	-.4522
	V/VC	-97900(*)	.10403	-1.5103	-.4477
	L/UC	-.14300	.07620	-.5321	.2461
	L/TC	-4.92600(*)	.29609	-6.4381	-3.4139
	V/UC	-.12700	.07713	-.5209	.2669
	V/TC	-7.72900(*)	.16024	-8.5473	-6.9107
	UR	.08600	.06337	-.2376	.4096
	TR	.03000	.06183	-.2858	.3458
	L/UR	-.09600	.05954	-.4000	.2080
	L/TR	-6.29400(*)	.26675	-7.6563	-4.9317
	V/UR	-.18200	.07285	-.5540	.1900
	V/TR	-7.52600(*)	.24465	-8.7754	-6.2766
	URC	-.13900	.06654	-.4788	.2008
	TRC	-.07200	.07944	-.4777	.3337
	L/URC	-.21300	.06115	-.5253	.0993
	L/TRC	-5.31100(*)	.17546	-6.2070	-4.4150
	V/URC	-.20400	.06442	-.5330	.1250
	V/TRC	-7.46500(*)	.16365	-8.3008	-6.6292

* Diferenças entre médias significante ao nível de 0,05.

Tabela 20 – Diferença entre as médias de resistência ao impacto Charpy (condição experimental L/LC)

(I) Agrupamento	(J) Agrupamento	Diferença entre Médias (I-J)	Desvio Padrão	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
L/LC	V/VC	-.09000	.10713	-.6371	.4571
	L/UC	.74600(*)	.08037	.3356	1.1564
	L/TC	-4.03700(*)	.29719	-5.5547	-2.5193
	V/UC	.76200(*)	.08126	.3470	1.1770
	V/TC	-6.84000(*)	.16227	-7.6687	-6.0113
	UR	.97500(*)	.06833	.6260	1.3240
	TR	.91900(*)	.06691	.5773	1.2607
	L/UR	.79300(*)	.06479	.4621	1.1239
	L/TR	-5.40500(*)	.26797	-6.7735	-4.0365
	V/UR	.70700(*)	.07720	.3127	1.1013
	V/TR	-6.63700(*)	.24599	-7.8932	-5.3808
	URC	.75000(*)	.07128	.3860	1.1140
	TRC	.81700(*)	.08345	.3908	1.2432
	L/URC	.67600(*)	.06628	.3375	1.0145
	L/TRC	-4.42200(*)	.17731	-5.3275	-3.5165
	V/URC	.68500(*)	.06930	.3311	1.0389
	V/TRC	-6.57600(*)	.16563	-7.4219	-5.7301

* Diferenças entre médias significante ao nível de 0,05.

Tabela 21 – Diferença entre as médias de resistência ao impacto Charpy (condição experimental V/VC)

(I) Agrupamento	(J) Agrupamento	Diferença entre Médias (I-J)	Desvio Padrão	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
V/VC	L/UC	.83600(*)	.09983	.3262	1.3458
	L/TC	-3.94700(*)	.30303	-5.4946	-2.3994
	V/UC	.85200(*)	.10055	.3385	1.3655
	V/TC	-6.75000(*)	.17273	-7.6321	-5.8679
	UR	1.06500(*)	.09042	.6032	1.5268
	TR	1.00900(*)	.08935	.5527	1.4653
	L/UR	.88300(*)	.08778	.4347	1.3313
	L/TR	-5.31500(*)	.27444	-6.7165	-3.9135
	V/UR	.79700(*)	.09730	.3001	1.2939
	V/TR	-6.54700(*)	.25301	-7.8391	-5.2549
	URC	.84000(*)	.09267	.3667	1.3133
	TRC	.90700(*)	.10233	.3844	1.4296
	L/URC	.76600(*)	.08888	.3121	1.2199
	L/TRC	-4.33200(*)	.18694	-5.2867	-3.3773
	V/URC	.77500(*)	.09116	.3095	1.2405
	V/TRC	-6.48600(*)	.17590	-7.3843	-5.5877

* Diferenças entre médias significante ao nível de 0,05.

Tabela 22 – Diferença entre as médias de resistência ao impacto Charpy (condição experimental L/UC)

(I) Agrupamento	(J) Agrupamento	Diferença entre Médias (I-J)	Desvio Padrão	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
L/UC	L/TC	-4.78300(*)	.29463	-6.2877	-3.2783
	V/UC	.01600	.07136	-.3484	.3804
	V/TC	-7.58600(*)	.15754	-8.3906	-6.7814
	UR	.22900	.05620	-.0580	.5160
	TR	.17300	.05446	-.1051	.4511
	L/UR	.04700	.05184	-.2177	.3117
	L/TR	-6.15100(*)	.26514	-7.5051	-4.7969
	V/UR	-.03900	.06670	-.3797	.3017
	V/TR	-7.38300(*)	.24290	-8.6235	-6.1425
	URC	.00400	.05975	-.3012	.3092
	TRC	.07100	.07385	-.3062	.4482
	L/URC	-.07000	.05368	-.3442	.2042
	L/TRC	-5.16800(*)	.17300	-6.0515	-4.2845
	V/URC	-.06100	.05738	-.3540	.2320
	V/TRC	-7.32200(*)	.16101	-8.1443	-6.4997

* Diferenças entre médias significante ao nível de 0,05.

Tabela 23 – Diferença entre as médias de resistência ao impacto Charpy (condição experimental L/TC)

(I) Agrupamento	(J) Agrupamento	Diferença entre Médias (I-J)	Desvio Padrão	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
L/TC	V/UC	4.79900(*)	.29488	3.2931	6.3049
	V/TC	-2.80300(*)	.32662	-4.4710	-1.1350
	UR	5.01200(*)	.29158	3.5229	6.5011
	TR	4.95600(*)	.29125	3.4686	6.4434
	L/UR	4.83000(*)	.29077	3.3450	6.3150
	L/TR	-1.36800	.39008	-3.3601	.6241
	V/UR	4.74400(*)	.29379	3.2436	6.2444
	V/TR	-2.60000(*)	.37531	-4.5167	-.6833
	URC	4.78700(*)	.29229	3.2943	6.2797
	TRC	4.85400(*)	.29549	3.3449	6.3631
	L/URC	4.71300(*)	.29111	3.2263	6.1997
	L/TRC	-.38500	.33435	-2.0925	1.3225
	V/URC	4.72200(*)	.29181	3.2317	6.2123
	V/TRC	-2.53900(*)	.32831	-4.2156	-.8624

* Diferenças entre médias significante ao nível de 0,05.

Tabela 24 – Diferença entre as médias de resistência ao impacto Charpy (condição experimental V/UC)

(I) Agrupamento	(J) Agrupamento	Diferença entre Médias (I-J)	Desvio Padrão	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
V/UC	V/TC	-7.60200(*)	.15800	-8.4089	-6.7951
	UR	.21300	.05747	-.0805	.5065
	TR	.15700	.05576	-.1278	.4418
	L/UR	.03100	.05321	-.2407	.3027
	L/TR	-6.16700(*)	.26541	-7.5224	-4.8116
	V/UR	-.05500	.06777	-.4011	.2911
	V/TR	-7.39900(*)	.24319	-8.6410	-6.1570
	URC	-.01200	.06094	-.3232	.2992
	TRC	.05500	.07482	-.3271	.4371
	L/URC	-.08600	.05501	-.3669	.1949
	L/TRC	-5.18400(*)	.17341	-6.0696	-4.2984
	V/URC	-.07700	.05861	-.3763	.2223
	V/TRC	-7.33800(*)	.16146	-8.1625	-6.5135

* Diferenças entre médias significante ao nível de 0,05.

Tabela 25 – Diferença entre as médias de resistência ao impacto Charpy (condição experimental V/TC)

(I) Agrupamento	(J) Agrupamento	Diferença entre Médias (I-J)	Desvio Padrão	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
V/TC	UR	7.81500(*)	.15175	7.0400	8.5900
	TR	7.75900(*)	.15112	6.9872	8.5308
	L/UR	7.63300(*)	.15019	6.8660	8.4000
	L/TR	1.43500	.30028	-.0985	2.9685
	V/UR	7.54700(*)	.15595	6.7506	8.3434
	V/TR	.20300	.28084	-1.2312	1.6372
	URC	7.59000(*)	.15310	6.8081	8.3719
	TRC	7.65700(*)	.15914	6.8443	8.4697
	L/URC	7.51600(*)	.15084	6.7457	8.2863
	L/TRC	2.41800(*)	.22316	1.2784	3.5576
	V/URC	7.52500(*)	.15219	6.7478	8.3022
	V/TRC	.26400	.21400	-.8289	1.3569

* Diferenças entre médias significante ao nível de 0,05.

Tabela 26 – Diferença entre as médias de resistência ao impacto Charpy (condição experimental UR)

(I) Agrupamento	(J) Agrupamento	Diferença entre Médias (I-J)	Desvio Padrão	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
UR	TR	-.05600	.03429	-.2311	.1191
	L/UR	-.18200(*)	.02996	-.3350	-.0290
	L/TR	-6.38000(*)	.26174	-7.7167	-5.0433
	V/UR	-.26800(*)	.05157	-.5314	-.0046
	V/TR	-7.61200(*)	.23918	-8.8335	-6.3905
	URC	-.22500(*)	.04220	-.4405	-.0095
	TRC	-.15800	.06053	-.4671	.1511
	L/URC	-.29900(*)	.03305	-.4678	-.1302
	L/TRC	-5.39700(*)	.16774	-6.2537	-4.5403
	V/URC	-.29000(*)	.03876	-.4879	-.0921
	V/TRC	-7.55100(*)	.15535	-8.3444	-6.7576

* Diferenças entre médias significante ao nível de 0,05.

Tabela 27 – Diferença entre as médias de resistência ao impacto Charpy (condição experimental TR)

(I) Agrupamento	(J) Agrupamento	Diferença entre Médias (I-J)	Desvio Padrão	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
TR	L/UR	-.12600	.02654	-.2615	.0095
	L/TR	-6.32400(*)	.26137	-7.6588	-4.9892
	V/UR	-.21200	.04967	-.4656	.0416
	V/TR	-7.55600(*)	.23878	-8.7754	-6.3366
	URC	-.16900	.03985	-.3725	.0345
	TRC	-.10200	.05892	-.4029	.1989
	L/URC	-.24300(*)	.02999	-.3961	-.0899
	L/TRC	-5.34100(*)	.16717	-6.1947	-4.4873
	V/URC	-.23400(*)	.03618	-.4188	-.0492
	V/TRC	-7.49500(*)	.15473	-8.2852	-6.7048

* Diferenças entre médias significante ao nível de 0,05.

Tabela 28 – Diferença entre as médias de resistência ao impacto Charpy (condição experimental L/UR)

(I) Agrupamento	(J) Agrupamento	Diferença entre Médias (I-J)	Desvio Padrão	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
L/UR	L/TR	-6.19800(*)	.26084	-7.5301	-4.8659
	V/UR	-.08600	.04678	-.3249	.1529
	V/TR	-7.43000(*)	.23820	-8.6465	-6.2135
	URC	-.04300	.03618	-.2278	.1418
	TRC	.02400	.05650	-.2646	.3126
	L/URC	-.11700	.02491	-.2442	.0102
	L/TRC	-5.21500(*)	.16633	-6.0644	-4.3656
	V/URC	-.10800	.03210	-.2720	.0560
	V/TRC	-7.36900(*)	.15383	-8.1546	-6.5834

* Diferenças entre médias significante ao nível de 0,05.

Tabela 29 – Diferença entre as médias de resistência ao impacto Charpy (condição experimental L/TR)

(I) Agrupamento	(J) Agrupamento	Diferença entre Médias (I-J)	Desvio Padrão	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
L/TR	V/UR	6.11200(*)	.26420	4.7628	7.4612
	V/TR	-1.23200	.35263	-3.0329	.5689
	URC	6.15500(*)	.26253	4.8143	7.4957
	TRC	6.22200(*)	.26609	4.8631	7.5809
	L/URC	6.08100(*)	.26121	4.7470	7.4150
	L/TRC	.98300	.30867	-.5934	2.5594
	V/URC	6.09000(*)	.26200	4.7520	7.4280
	V/TRC	-1.17100	.30212	-2.7139	.3719

* Diferenças entre médias significante ao nível de 0,05.

Tabela 30 – Diferença entre as médias de resistência ao impacto Charpy (condição experimental V/UR)

(I) Agrupamento	(J) Agrupamento	Diferença entre Médias (I-J)	Desvio Padrão	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
V/UR	V/TR	-7.34400(*)	.24187	-8.5792	-6.1088
	URC	.04300	.05542	-.2400	.3260
	TRC	.11000	.07039	-.2495	.4695
	L/URC	-.03100	.04881	-.2803	.2183
	L/TRC	-5.12900(*)	.17155	-6.0051	-4.2529
	V/URC	-.02200	.05285	-.2919	.2479
	V/TRC	-7.28300(*)	.15945	-8.0973	-6.4687

* Diferenças entre médias significante ao nível de 0,05.

Tabela 31 – Diferença entre as médias de resistência ao impacto Charpy (condição experimental V/TR)

(I) Agrupamento	(J) Agrupamento	Diferença entre Médias (I-J)	Desvio Padrão	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
V/TR	URC	7.38700(*)	.24004	6.1611	8.6129
	TRC	7.45400(*)	.24393	6.2082	8.6998
	L/URC	7.31300(*)	.23860	6.0945	8.5315
	L/TRC	2.21500(*)	.28979	.7351	3.6949
	V/URC	7.32200(*)	.23946	6.0991	8.5449
	V/TRC	.06100	.28280	-1.3832	1.5052

* Diferenças entre médias significante ao nível de 0,05.

Tabela 32 – Diferença entre as médias de resistência ao impacto Charpy (condição experimental URC)

(I) Agrupamento	(J) Agrupamento	Diferença entre Médias (I-J)	Desvio Padrão	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
URC	TRC	.06700	.06384	-.2590	.3930
	L/URC	-.07400	.03878	-.2720	.1240
	L/TRC	-5.17200(*)	.16897	-6.0349	-4.3091
	V/URC	-.06500	.04375	-.2884	.1584
	V/TRC	-7.32600(*)	.15667	-8.1261	-6.5259

* Diferenças entre médias significante ao nível de 0,05.

Tabela 33 – Diferença entre as médias de resistência ao impacto Charpy (condição experimental TRC)

(I) Agrupamento	(J) Agrupamento	Diferença entre Médias (I-J)	Desvio Padrão	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
TRC	L/URC	-.14100	.05820	-.4382	.1562
	L/TRC	-5.23900(*)	.17445	-6.1299	-4.3481
	V/URC	-.13200	.06162	-.4467	.1827
	V/TRC	-7.39300(*)	.16257	-8.2232	-6.5628

* Diferenças entre médias significante ao nível de 0,05.

Tabela 34 – Diferença entre as médias de resistência ao impacto Charpy (condição experimental L/URC)

(I) Agrupamento	(J) Agrupamento	Diferença entre Médias (I-J)	Desvio Padrão	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
L/URC	L/TRC	-5.09800(*)	.16692	-5.9504	-4.2456
	V/URC	.00900	.03501	-.1698	.1878
	V/TRC	-7.25200(*)	.15446	-8.0408	-6.4632

* Diferenças entre médias significante ao nível de 0,05.

Tabela 35 – Diferença entre as médias de resistência ao impacto Charpy (condição experimental L/TRC)

(I) Agrupamento	(J) Agrupamento	Diferença entre Médias (I-J)	Desvio Padrão	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
L/TRC	V/URC	5.10700(*)	.16814	4.2483	5.9657
	V/TRC	-2.15400(*)	.22562	-3.3062	-1.0018

* Diferenças entre médias significante ao nível de 0,05.

Tabela 36 – Diferença entre as médias de resistência ao impacto Charpy (condição experimental V/URC)

(I) Agrupamento	(J) Agrupamento	Diferença entre Médias (I-J)	Desvio Padrão	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
V/URC	V/TRC	-7.26100(*)	.15578	-8.0566	-6.4654

* Diferenças entre médias significante ao nível de 0,05.

Tabela 61 – Diferença entre as médias de queda livre de dardo. Em vermelho, resultados estatisticamente diferentes

		Condição Experimental																								
		L	V	L/L	V/V	L/U	L/T	V/U	V/T	LC	VC	L/LC	V/VC	L/UC	L/TC	V/UC	V/TC	L/UR	L/TR	V/UR	V/TR	L/URC	L/TRC	V/URC	V/TRC	
	L																									
	V	3,00																								
	L/L	4,50	7,50																							
	V/V	0,00	3,00	4,50																						
	L/U	15,00	18,00	10,50	15,00																					
	L/T	22,50	19,50	27,00	22,50	37,50																				
	V/U	9,00	12,00	4,50	9,00	6,00	31,50																			
	V/T	33,00	30,00	37,50	33,00	48,00	10,50	42,00																		
	LC	1,50	4,50	3,00	1,50	13,50	24,00	7,50	34,50																	
	VC	1,50	1,50	6,00	1,50	16,50	21,00	10,50	31,50	3,00																
	L/LC	4,50	7,50	0,00	4,50	10,50	27,00	4,50	37,50	3,00	6,00															
Condição Experimental	V/VC	1,50	4,50	3,00	1,50	13,50	24,00	7,50	34,50	0,00	3,00	3,00														
	L/UC	16,50	19,50	12,00	16,50	1,50	39,00	7,50	49,50	15,00	18,00	12,00	15,00													
	L/TC	22,50	19,50	27,00	22,50	37,50	0,00	31,50	10,50	24,00	21,00	27,00	24,00	39,00												
	V/UC	10,50	13,50	6,00	10,50	4,50	33,00	1,50	43,50	9,00	12,00	6,00	9,00	6,00	33,00											
	V/TC	39,00	36,00	43,50	39,00	54,00	16,50	48,00	6,00	40,50	37,50	43,50	40,50	55,50	16,50	49,50										
	L/UR	7,50	10,50	3,00	7,50	7,50	30,00	1,50	40,50	6,00	9,00	3,00	6,00	9,00	30,00	3,00	46,50									
	L/TR	10,50	7,50	15,00	10,50	25,50	12,00	19,50	22,50	12,00	9,00	15,00	12,00	27,00	12,00	21,00	28,50	18,00								
	V/UR	16,50	19,50	12,00	16,50	1,50	39,00	7,50	49,50	15,00	18,00	12,00	15,00	0,00	39,00	6,00	55,50	9,00	27,00							
	V/TR	39,00	36,00	43,50	39,00	54,00	16,50	48,00	6,00	40,50	37,50	43,50	40,50	55,50	16,50	49,50	0,00	46,50	28,50	55,50						
	L/URC	12,00	15,00	34,50	12,00	3,00	34,50	3,00	45,00	10,50	13,50	7,50	10,50	4,50	34,50	1,50	51,00	4,50	22,50	4,50	51,00					
	L/TRC	10,50	7,50	12,00	10,50	25,50	12,00	19,50	22,50	12,00	9,00	15,00	12,00	27,00	12,00	21,00	28,50	18,00	0,00	27,00	28,50	22,50				
	V/URC	15,00	18,00	10,50	15,00	0,00	37,50	6,00	48,00	13,50	16,50	10,50	13,50	1,50	37,50	4,50	54,00	7,50	25,50	1,50	54,00	3,00	25,50			
	V/TRC	30,00	27,00	43,50	30,00	45,00	7,50	39,00	3,00	31,50	28,50	34,50	31,50	46,50	7,50	40,50	9,00	37,50	19,50	46,50	9,00	42,00	19,50	45,00		

Tabela 62 – Valores médios de resistência ao impacto – testes Charpy e queda livre de dardo (J)

Condição Experimental	Charpy (J)	Queda Livre de Dardo (J)
L	0,08	738,82
V	0,09	758,24
L/L	0,07	709,68
V/V	0,09	738,82
L/U	0,04	641,70
L/T	0,24	884,50
V/U	0,05	680,55
V/T	0,44	952,48
LC	0,08	729,10
VC	0,09	748,53
L/LC	0,08	709,68
V/VC	0,09	729,10
L/UC	0,04	631,99
L/TC	0,29	884,50
V/UC	0,04	670,83
V/TC	0,44	991,33
L/UR	0,04	690,26
L/TR	0,36	806,80
V/UR	0,04	631,99
V/TR	0,43	991,33
L/URC	0,05	661,12
L/TRC	0,31	806,80
V/URC	0,05	641,70
V/TRC	0,42	933,05

Autorizo a reprodução deste trabalho.
(Direitos de publicação reservado ao autor)

Araraquara, 20 de julho de 2009.

LUCIANO ELIAS DA CRUZ PEREZ