

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Renato Mendes

Estudo experimental comparativo dos cimentos ósseos nacionais

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio.

Orientadores: Djenane Cordeiro Pamplona
Rames Mattar Junior

Rio de Janeiro, outubro de 2006



Renato Mendes

Estudo experimental comparativo dos cimentos ósseos nacionais

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Djenane Cordeiro Pamplona

Orientadora

Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

Hans Ingo Weber

Departamento de Engenharia Mecânica - PUC-Rio

Khosrow Ghavami

Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

Luciano Luporini Menegaldo

IME

José Eugênio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 16 de outubro de 2006

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Renato Mendes

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará em 2003. Iniciou o curso de Mestrado na PUC-Rio em 2004, na área de Estruturas.

Ficha Catalográfica

Mendes, Renato

Estudo experimental comparativo dos cimentos ósseos nacionais / Renato Mendes ; orientadores: Djenane Cordeiro Pamplona, Rames Mattar Junior. – Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Engenharia Civil, 2006.

156 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Civil – Teses. 2. Cimento ósseo. 3. Polimetilmetacrilato (PMMA). 4. Qualidade. 5. ABNT NBR ISO 5833. I. Pamplona, Djenane Cordeiro. II. Mattar Junior, Rames. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. IV. Título.

CDD: 624

Aos meus pais, Osmar e Mariângela,
meus exemplos de vida.

Agradecimentos

A Deus pela existência e dom da vida.

Aos meus pais, Osmar e Mariângela, quem muito admiro pelos exemplos de simplicidade, caráter, justiça e humildade, amo muito vocês.

Aos meus irmãos, Rafael, Bianca e Beatriz.

Aos meus avós, Hilário e Aríete Mendes, pelo carinho e atenção com que me receberam e dispensaram no decorrer deste trabalho.

À minha professora e orientadora Djenane Cordeiro Pamplona, pelos ensinamentos, atenção e principalmente pela confiança na realização deste trabalho.

Ao Eng. Tomaz Puga Leivas, pelo apoio, colaboração e atenção dispensada, uma pessoa muito importante para que a concretização deste estudo se tornasse realidade.

Ao Tecnólogo César Augusto Martins Pereira, pelo apoio e colaboração durante a fase experimental do estudo e por sua amizade.

Aos amigos Ygor Almeida Netto e Adenilson Costa de Oliveira, por toda uma convivência ao longo de dois anos e meio de curso, muito obrigado pelos momentos de alegria e descontração e principalmente pela amizade.

A todas as pessoas, incluindo professores, amigos e familiares, que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

A CMM, Stryker do Brasil e Prosíntese pela doação das unidades de cimento CMM, Howmedica Simplex P e Biomet, respectivamente, utilizadas neste trabalho.

A CNPq, pelo apoio financeiro.

Resumo

Mendes, Renato; Pamplona, Djenane Cordeiro (Orientador); Junior, Rames Mattar (Orientador). **Estudo experimental comparativo dos cimentos ósseos nacionais**. Rio de Janeiro, 2006. 156p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O cimento ósseo ou acrílico, também conhecido por polimetilmetacrilato (PMMA), é um biomaterial empregado em cirurgias. Utilizado principalmente na fixação de próteses, além do preenchimento e reconstrução de segmentos ósseos, o cimento ósseo é colocado nos espaços vazios entre o implante e a superfície óssea endosteal, endurecendo em pouco tempo e assegurando a firme colocação da prótese ao preencher por completo o espaço vazio entre o implante e o osso. Avaliou-se a qualidade de cinco marcas de cimento ósseo comum (sem adição de antibióticos), de viscosidade normal, comercializadas no mercado brasileiro, sendo três de fabricação nacional e duas importadas, de acordo com os parâmetros da norma ABNT NBR ISO 5833. Realizou-se a inspeção visual dos componentes a fim de verificar requisitos de aparência, embalagem e rotulagem, aferição de conteúdos (massa e volume), e os seguintes ensaios para obtenção das propriedades físicas e mecânicas do material: estabilidade do componente líquido, temperatura máxima, tempo de colocação, tempo de formação de massa, intrusão, resistência à compressão e resistência e módulo de flexão. Todas as marcas foram reprovadas no item *9.1- Rotulagem* da referida norma, e duas marcas, sendo uma nacional e outra importada, reprovadas nos testes de intrusão. Nas demais verificações e ensaios todas as marcas avaliadas obtiveram resultados satisfatórios.

Palavras-chave

1. Cimento Ósseo. 2. Polimetilmetacrilato (PMMA). 3. Qualidade. 4. ABNT NBR ISO 5833.

Abstract

Mendes, Renato; Pamplona, Djenane Cordeiro (Advisor); Junior, Rames Mattar (Advisor). **Experimental study comparing national brands of orthopaedical cement.** Rio de Janeiro, 2006. 156p. MSc Dissertation – Department of Civil Engineering, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The bone or acrylic cement, also known for polymethylmethacrylate (PMMA), is a biomaterial used in surgeries. Used mainly in the fixation of prostheses, beyond the fulfilling and reconstruction of bone segments, the bone cement is placed in the empty spaces between the implant and the endosteal bone surface, hardening in little time and assuring the firm rank of prostheses when filling completely the empty space between the implantation and the bone. Quality of five marks of common bone cement (without antibiotic addition), of normal viscosity, commercialized in Brazil, was evaluated, being three of brazilian manufacture and two imported, in accordance with the parameters of norm ABNT NBR ISO 5833. They had become fullfilled it visual inspection of the components in order to verify requirements of appearance, packing and labelling, gauging of contents (mass and volume), and the following tests for attainment of the physical and mechanical properties of the material: stability of the liquid component, maximum temperature, setting time, doughing time, intrusion, compressive strength, bending modulus and bending strength. All the marks had been disapproved in the item *9.1- Labelling* of the related norm, and two marks, being national and other imported, disapproved in the intrusion tests. In the too much verifications and assays all the evaluated marks had gotten resulted satisfactory.

Keywords

1. Bone Cement. 2. Polimethylmetacrylate (PMMA). 3. Quality. 4. ABNT NBR ISO 5833.

Sumário

1 Introdução	24
1.1. Objetivo	27
2 Revisão Bibliográfica	28
2.1. Cimento Ósseo Acrílico	28
2.1.1. Histórico	28
2.1.2. Composição	32
2.1.3. Polimerização	34
2.1.4. Métodos de mistura e Porosidade	37
2.1.5. Aplicações	40
2.1.6. Evolução das técnicas de cimentação	42
2.1.7. Complicações em cirurgias	45
2.1.8. Propriedades mecânicas	46
2.2. Revisão de conceitos gerais para ensaios mecânicos	47
2.2.1. Tensão aplicada	47
2.2.2. Módulo de Young e Curvas de esforço <i>versus</i> deformação	48
2.2.3. Tração e Compressão	50
2.2.4. Flexão	51
3 Materiais e Métodos	52
3.1. Materiais	52
3.2. Métodos	54
3.2.1. Inspeção visual	55
3.2.2. Exatidão de conteúdos	57
3.2.3. Estabilidade do componente líquido	58
3.2.4. Tempo de formação de massa	60
3.2.5. Temperatura máxima e Tempo de colocação	62
3.2.6. Intrusão	67
3.2.7. Resistência à compressão	69
3.2.8. Resistência e módulo de flexão	73

4 Resultados	80
4.1. Inspeção visual	80
4.1.1. Aparência	80
4.1.2. Embalagem	83
4.1.3. Rotulagem	84
4.2. Exatidão de conteúdos	84
4.3. Estabilidade do componente líquido	88
4.4. Tempo de formação de massa	89
4.5. Temperatura máxima e Tempo de colocação	91
4.6. Intrusão	102
4.7. Resistência à compressão	104
4.8. Resistência e Módulo de flexão	110
5 Discussão	117
6 Conclusão	120
7 Sugestões	122
8 Referências Bibliográficas	123
Apêndice 1	127
Apêndice 2	140
Anexo 1	153
Anexo 2	154
Anexo 3	155
Anexo 4	156

Lista de figuras

Figura 1: Variação da temperatura ao longo do tempo na fase de polimerização.	35
Figura 2: Aplicações do cimento ósseo na reconstrução de deformidades faciais (A) e na artroplastia de joelho (B) (Oktar, 2003).	40
Figura 3: Diagrama tensão <i>versus</i> deformação (Daniels, Tooms & Harkess in Barros, 2002).	49
Figura 4: Esforços de tração e compressão.	50
Figura 5: Esforços de flexão	51
Figura 6: Identificação das marcas de cimento utilizadas.	53
Figura 7: Fluxograma de realização dos ensaios.	54
Figura 8: Recipiente e espátula utilizados para a mistura dos componentes.	55
Figura 9: Balança digital e pipeta graduada para a verificação da conformidade de conteúdos de massa e volume.	58
Figura 10: escoamento do líquido através do viscosímetro tipo “U” para medição dos tempos t_a (antes do aquecimento) e t_b (depois do aquecimento).	59
Figura 11: Frascos com amostras de líquido imersos em água (A) e aparelho de Banho Maria fechado com temperatura constante (B).	59
Figura 12: Equipamentos (vasilha de aço inoxidável e espátula de poliestireno) para realização da mistura do componente pó com o líquido (ampola).	61
Figura 13: Início da mistura do pó com o líquido (A); e formação de fibras entre o cimento e a luva cirúrgica (B).	61
Figura 14: Cimento acrílico ósseo no estado de massa.	62
Figura 15: Anel interno (êmbolo), anel externo (corpo) e corpo de prova, respectivamente, em sentido horário.	63
Figura 16: Termopar acoplado ao molde.	64
Figura 17: Sistema termopar-molde com carga aplicada.	64
Figura 18: Interface do software utilizado nos ensaios de temperatura.	65

Figura 19: Curva típica temperatura <i>versus</i> tempo.	66
Figura 20: Conjunto composto por êmbolo e corpo (com identificação dos furos) utilizado como molde para ensaios de intrusão.	67
Figura 21: Carga de 49 N aplicada sobre êmbolo no conjunto do molde de intrusão.	68
Figura 22: Medida do comprimento de intrusão em corpo de prova cilíndrico utilizando-se paquímetro digital.	69
Figura 23: Molde e corpos de prova para ensaio de resistência à compressão.	70
Figura 24: Realização do ensaio de compressão.	71
Figura 25: Detalhe do bloco sobre o corpo de prova sujeito ao ensaio de compressão.	71
Figura 26: Detalhe do corpo de prova ao final do ensaio.	72
Figura 27: Curva hipotética de força <i>versus</i> deformação para ensaios de compressão. Método gráfico para a determinação do limite superior de escoamento (1) e limite convencional de elasticidade (2) para o deslocamento de 2% (3) do comprimento inicial.	72
Figura 28: Detalhe dos corpos de prova para ensaios de flexão.	74
Figura 29: Sistema de equipamentos utilizados nos ensaios de flexão.	75
Figura 30: Relógio comparador acoplado ao suporte de alumínio dotado de cutelos inferiores.	75
Figura 31: Sistema composto por célula de carga, cutelos superior e inferior e relógio comparador.	76
Figura 32: Detalhe do corpo de prova em ensaio de quatro pontos com a haste do relógio comparador posicionada entre os cutelos inferiores.	76
Figura 33: Amostra no momento de ruptura.	77
Figura 34: Imagem de vídeo correspondente ao tempo em que a força atingiu 15 N.	78
Figura 35: Análise comparativa dos resultados dos ensaios de Estabilidade do Líquido.	88
Figura 36: Análise comparativa dos resultados dos ensaios de Tempo de Formação de Massa.	91

Figura 37: Curva temperatura <i>versus</i> tempo de unidade de cimento da marca Baumer Osteo-Class (amostra 1).	92
Figura 38: Curva temperatura <i>versus</i> tempo de unidade de cimento da marca Baumer Osteo-Class (amostra 2).	93
Figura 39: Curva temperatura <i>versus</i> tempo de unidade de cimento da marca Biomecânica (amostra 1).	94
Figura 40: Curva temperatura <i>versus</i> tempo de unidade de cimento da marca Biomecânica (amostra 2).	95
Figura 41: Curva temperatura <i>versus</i> tempo de unidade de cimento da marca CMM (amostra 1).	96
Figura 42: Curva temperatura <i>versus</i> tempo de unidade de cimento da marca CMM (amostra 2).	97
Figura 43: Curva temperatura <i>versus</i> tempo de unidade de cimento da marca Howmedica Simplex P (amostra 1).	98
Figura 44: Curva temperatura <i>versus</i> tempo de unidade de cimento da marca Howmedica Simplex P (amostra 2).	99
Figura 45: Curva temperatura <i>versus</i> tempo de unidade de cimento da marca Biomet (amostra 1).	100
Figura 46: Curva temperatura <i>versus</i> tempo de unidade de cimento da marca Biomet (amostra 2).	101
Figura 47: Análise comparativa dos resultados dos ensaios de Temperatura Máxima e Tempo de Colocação.	102
Figura 48: Análise comparativa dos resultados dos ensaios de Intrusão	104
Figura 49: Análise comparativa dos resultados dos ensaios de Resistência à Compressão.	110
Figura 50: Análise comparativa dos resultados dos ensaios de Resistência e Módulo de Flexão.	116
Figura 51: Curva força <i>versus</i> deslocamento obtida em ensaio de resistência à compressão da unidade de cimento Baumer Osteo-Class (amostra 1).	127
Figura 52: Curva força <i>versus</i> deslocamento obtida em ensaio de resistência à compressão da unidade de cimento Baumer Osteo-Class (amostra 2).	128

Figura 53: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à compressão da unidade de cimento Baumer Osteo-Class (amostra 3).	128
Figura 54: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à compressão da unidade de cimento Baumer Osteo-Class (amostra 4).	129
Figura 55: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à compressão da unidade de cimento Baumer Osteo-Class (amostra 5).	129
Figura 56: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à compressão da unidade de cimento Biomecânica (amostra 1).	130
Figura 57: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à compressão da unidade de cimento Biomecânica (amostra 2).	130
Figura 58: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à compressão da unidade de cimento Biomecânica (amostra 3).	131
Figura 59: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à compressão da unidade de cimento Biomecânica (amostra 4).	131
Figura 60: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à compressão da unidade de cimento Biomecânica (amostra 5).	132
Figura 61: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à compressão da unidade de cimento CMM (amostra 1).	132
Figura 62: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à compressão da unidade de cimento CMM (amostra 2).	133
Figura 63: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à compressão da unidade de cimento CMM (amostra 3).	133
Figura 64: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à compressão da unidade de cimento CMM (amostra 4).	134

Figura 65: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à compressão da unidade de cimento CMM (amostra 5).	134
Figura 66: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à compressão da unidade de cimento Howmedica Simplex P (amostra 1).	135
Figura 67: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à compressão da unidade de cimento Howmedica Simplex P (amostra 2).	135
Figura 68: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à compressão da unidade de cimento Howmedica Simplex P (amostra 3).	136
Figura 69: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à compressão da unidade de cimento Howmedica Simplex P (amostra 4).	136
Figura 70: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à compressão da unidade de cimento Howmedica Simplex P (amostra 5).	137
Figura 71: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à compressão da unidade de cimento Biomet (amostra 1).	137
Figura 72: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à compressão da unidade de cimento Biomet (amostra 2).	138
Figura 73: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à compressão da unidade de cimento Biomet (amostra 3).	138
Figura 74: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à compressão da unidade de cimento Biomet (amostra 4).	139
Figura 75: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à compressão da unidade de cimento Biomet (amostra 5).	139
Figura 76: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à flexão da unidade de cimento Baumer Osteo-Class (amostra 1).	140
Figura 77: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à flexão da unidade de cimento Baumer Osteo-Class (amostra 2).	141

Figura 78: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à flexão da unidade de cimento Baumer Osteo-Class (amostra 3).	141
Figura 79: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à flexão da unidade de cimento Baumer Osteo-Class (amostra 4).	142
Figura 80: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à flexão da unidade de cimento Baumer Osteo-Class (amostra 5).	142
Figura 81: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à flexão da unidade de cimento Biomecânica (amostra 1).	143
Figura 82: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à flexão da unidade de cimento Biomecânica (amostra 2).	143
Figura 83: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à flexão da unidade de cimento Biomecânica (amostra 3).	144
Figura 84: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à flexão da unidade de cimento Biomecânica (amostra 4).	144
Figura 85: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à flexão da unidade de cimento Biomecânica (amostra 5).	145
Figura 86: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à flexão da unidade de cimento CMM (amostra 1).	145
Figura 87: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à flexão da unidade de cimento CMM (amostra 2).	146
Figura 88: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à flexão da unidade de cimento CMM (amostra 3).	146
Figura 89: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à flexão da unidade de cimento CMM (amostra 4).	147
Figura 90: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à flexão da unidade de cimento CMM (amostra 5).	147
Figura 91: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à flexão da unidade de cimento Howmedica Simplex P (amostra 1).	148

Figura 92: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à flexão da unidade de cimento Howmedica Simplex P (amostra 2).	148
Figura 93: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à flexão da unidade de cimento Howmedica Simplex P (amostra 3).	149
Figura 94: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à flexão da unidade de cimento Howmedica Simplex P (amostra 4).	149
Figura 95: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à flexão da unidade de cimento Howmedica Simplex P (amostra 5).	150
Figura 96: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à flexão da unidade de cimento Biomet (amostra 1).	150
Figura 97: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à flexão da unidade de cimento Biomet (amostra 2).	151
Figura 98: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à flexão da unidade de cimento Biomet (amostra 3).	151
Figura 99: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à flexão da unidade de cimento Biomet (amostra 4).	152
Figura 100: Curva força versus deslocamento obtida em ensaio de resistência à flexão da unidade de cimento Biomet (amostra 5).	152

Lista de tabelas

Tabela 1: Composição química do Cimento Ósseo Acrílico.	32
Tabela 2: Evolução das técnicas de cimentação.	44
Tabela 3: Quantidade de amostras necessárias para realização dos ensaios.	53
Tabela 4: Identificação das unidades de cimento por lote, data de fabricação e data de validade.	80
Tabela 5: Avaliação da aparência das unidades de cimento Baumer Osteo-Class.	81
Tabela 6: Avaliação da aparência das unidades de cimento Biomecânica.	81
Tabela 7: Avaliação da aparência das unidades de cimento CMM.	82
Tabela 8: Avaliação da aparência das unidades de cimento Howmedica Simplex P.	82
Tabela 9: Avaliação da aparência das unidades de cimento Biomet.	83
Tabela 10: Avaliação de requisitos de embalagem das unidades de cimento (itens 8.1 e 8.3)	83
Tabela 11: Avaliação de requisitos de rotulagem das unidades de cimento (itens 9.1 e 9.2)	84
Tabela 12: Massa e volume nominais e variações permitidas para conteúdos de unidades de cimento.	85
Tabela 13: Análise estatística e avaliação da conformidade de massa e volume das amostras de cimento Baumer Osteo-Class.	85
Tabela 14: Análise estatística e avaliação da conformidade de massa e volume das amostras de cimento Biomecânica.	86
Tabela 15: Análise estatística e avaliação da conformidade de massa e volume das amostras de cimento CMM.	86
Tabela 16: Análise estatística e avaliação da conformidade de massa e volume das amostras de cimento Howmedica Simplex P.	87
Tabela 17: Análise estatística e avaliação da conformidade de massa e volume das amostras de cimento Biomet.	87

Tabela 18: Avaliação dos resultados dos ensaios de estabilidade do componente líquido.	88
Tabela 19: Análise estatística e avaliação dos resultados do tempo de formação de massa das unidades de cimento Baumer Osteo-Class.	89
Tabela 20: Análise estatística e avaliação dos resultados do tempo de formação de massa das unidades de cimento Biomecânica.	89
Tabela 21: Análise estatística e avaliação dos resultados do tempo de formação de massa das unidades de cimento CMM.	90
Tabela 22: Análise estatística e avaliação dos resultados do tempo de formação de massa das unidades de cimento Howmedica Simplex P.	90
Tabela 23: Análise estatística e avaliação dos resultados do tempo de formação de massa das unidades de cimento Biomet.	91
Tabela 24: Avaliação da Temperatura máxima (Baumer Osteo-Class).	93
Tabela 25: Avaliação do Tempo de colocação (Baumer Osteo-Class).	94
Tabela 26: Avaliação da Temperatura máxima (Biomecânica).	95
Tabela 27: Avaliação do Tempo de colocação (Biomecânica).	96
Tabela 28: Avaliação da Temperatura máxima (CMM).	97
Tabela 29: Avaliação do Tempo de colocação (CMM).	98
Tabela 30: Avaliação da Temperatura máxima (Howmedica Simplex P)	99
Tabela 31: Avaliação do Tempo de colocação (Howmedica Simplex P).	100
Tabela 32: Avaliação da Temperatura máxima (Biomet).	101
Tabela 33: Avaliação do Tempo de colocação (Biomet).	102
Tabela 34: Avaliação do ensaio de intrusão para unidades de cimento (Amostra 1).	103
Tabela 35: Avaliação do ensaio de intrusão para unidades de cimento (Amostra 2).	103
Tabela 36: Dimensões dos cilindros das amostras de cimento Baumer Osteo-Class.	105
Tabela 37: Análise e avaliação dos dados de ensaios de resistência à compressão de unidade de cimento Baumer Osteo-Class.	105
Tabela 38: Dimensões dos cilindros das amostras de cimento Biomecânica.	106

Tabela 39: Análise e avaliação dos dados de ensaios de resistência à compressão de unidade de cimento Biomecânica.	106
Tabela 40: Dimensões dos cilindros das amostras de cimento CMM.	107
Tabela 41: Análise e avaliação dos dados de ensaios de resistência à compressão de unidade de cimento CMM.	107
Tabela 42: Dimensões dos cilindros das amostras de cimento Howmedica Simplex P.	108
Tabela 43: Análise e avaliação dos dados de ensaios de resistência à compressão de unidade de cimento Howmedica Simplex P.	108
Tabela 44: Dimensões dos cilindros das amostras de cimento Biomet.	109
Tabela 45: Análise e avaliação dos dados de ensaios de resistência à compressão de unidade de cimento Biomet.	109
Tabela 46: Dimensões médias, tempos e deflexões relativos a 15 N e 50 N e deflexão final das amostras de unidade de cimento Baumer Osteo-Class.	111
Tabela 47: Resultados e avaliação dos ensaios de módulo e resistência à flexão da unidade de cimento Baumer Osteo-Class.	111
Tabela 48: Dimensões médias, tempos e deflexões relativos a 15 N e 50 N e deflexão final das amostras de unidade de cimento Biomecânica.	112
Tabela 49: Resultados e avaliação dos ensaios de módulo e resistência à flexão da unidade de cimento Biomecânica.	112
Tabela 50: Dimensões médias, tempos e deflexões relativos a 15 N e 50 N e deflexão final das amostras de unidade de cimento CMM.	113
Tabela 51: Resultados e avaliação dos ensaios de módulo e resistência à flexão da unidade de cimento CMM.	113
Tabela 52: Dimensões médias, tempos e deflexões relativos a 15 N e 50 N e deflexão final das amostras de unidade de cimento Howmedica Simplex P.	114
Tabela 53: Resultados e avaliação dos ensaios de módulo e resistência à flexão da unidade de cimento Howmedica Simplex P.	114
Tabela 54: Dimensões médias, tempos e deflexões relativos a 15 N e 50 N e deflexão final das amostras de unidade de cimento Biomet.	115

Tabela 55: Resultados e avaliação dos ensaios de módulo e resistência à flexão da unidade de cimento Biomet.

115

Lista de símbolos

A	Área
A	Distância entre pontos de carregamento
B	Resistência à flexão
B	Largura
D	Diâmetro
E	Módulo de elasticidade
F	Força
f	Deflexão
G	Porosidade
H	Altura
I	Momento de inércia
M	Momento
N	Número da amostra
P	Carga
T	Temperatura
T_{amb}	Temperatura ambiente
T_{col}	Temperatura de colocação
T_{max}	Temperatura máxima
t	Tempo
t_a	Tempo de escoamento antes do aquecimento
t_b	Tempo de escoamento depois do aquecimento
t_{col}	Tempo de colocação
V_m	Volume total
V_p	Volume não-contínuo
y	Distância da linha neutra
ΔF	Faixa de carga
Δt	Variação percentual no tempo de escoamento
ε	Deformação
σ	Tensão
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM	American Society for Testing and Materials
ISO	International Organization for Standardization
MMA	Metilmetacrilato
NBR	Norma Brasileira
PMMA	Polimetilmetacrilato