**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE MEDICINA DE RIBEIRÃO PRETO**

RODRIGO CÉSAR ROSA

**Influência do preparo do orifício piloto e da frequência de
colocação do implante no seu torque de inserção e resistência ao
arrancamento**

**Ribeirão Preto - SP
2007**

RODRIGO CÉSAR ROSA

**Influência do preparo do orifício piloto e da frequência de
colocação do implante no seu torque de inserção e resistência ao
arrancamento**

Dissertação apresentada ao Departamento de
Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho
Locomotor da Faculdade de Medicina de Ribeirão
Preto da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Mestre em Ciências Médicas.

Área de concentração: Reabilitação

Orientador: Prof. Dr. Helton L. A. Defino

**Ribeirão Preto - SP
2007**

FICHA CATALOGRÁFICA

Rosa, Rodrigo César

Influência do Preparo do orifício piloto e da frequência de colocação do implante no seu torque de inserção e resistência ao arrancamento. Ribeirão Preto, 2007.

112 f. : il. ; 30 cm

Dissertação de Mestrado, apresentada à Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto / USP – Área de concentração: Reabilitação.

Orientador: Prof. Dr. Helton L. A. Defino.

1. Coluna Vertebral. 2. Parafuso Ósseo. 3. Biomecânica.

DEDICATÓRIA

Dedico a minha Família em especial aos meus pais: Silvano Justino Rosa, Ana Maria Silva Rosa e minha irmã Lidiana Cristina Rosa, pela confiança, paciência e perseverança. Eles nunca mediram esforços para me ajudar e sempre fizeram parte dos momentos mais importantes da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por estar permitindo concretizar esta etapa da minha vida.

Agradeço especialmente ao Prof. Dr. Helton L. A. Defino, pelos ensinamentos, orientações e, principalmente pelo exemplo de dedicação, sabedoria e profissionalismo.

Ao Prof. Dr. Antônio Carlos Shimano, pela amizade, dedicação e participação na realização desse projeto.

Ao Prof. Dr. José Batista Volpon por disponibilizar a estrutura do Laboratório de Bioengenharia para realização da parte experimental do trabalho.

Ao Frigorífico Barra Mansa pelo fornecimento dos ossos bovinos, em especial a Sandra Ângelo Thomaz e demais funcionários.

Aos funcionários e amigos do Laboratório de Bioengenharia da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Francisco Carlos Mazzocato (Chico), Luís Henrique Alves Pereira, Carlos Alberto Moro, Maria Teresinha de Moraes e Reginaldo Trevilatto da Silva, pelos auxílios prestados durante a realização deste trabalho e pela agradável convivência.

Às secretárias do Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor, Fátima, Elisângela, Rose e Moira.

Aos funcionários da Oficina de Precisão da Prefeitura do Campus da USP de Ribeirão Preto pela amizade, compreensão e pelos serviços prestados.

A Prof. Dra. Valéria Paula Sassoli Fazan pela orientação no Programa de Aperfeiçoamento ao Ensino (PAE).

Aos amigos: Ana Paula, Ariane, Bruno, Daniel Leal, Daniel Maranhão, Dimitri, Dayana, Fabiano Canto, Fabiano Masson, Fausto, Francisco (Chico), Geiza, Giovana, Gustavo, Graziela, Guilherme, João Henrique, João Paulo, Jorge Léo, Juliano Silveira, Leandro, Leonardo, Luana, Marcos Shimano, Ilton, Patrícia Silva, Paulo Eugênio, Priscila, Rafael, Rodrigo Andraus, Rodrigo Okubo, Sarah, Suraya, Thiago, Vera e Vitor Castania, pela agradável convivência no Laboratório de Bioengenharia.

E a todos que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigado!

Agradeço à FAPESP, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo auxílio financeiro nesta pesquisa (Processo 06/02702-9).

RESUMO

ROSA, R.C. **Influência do preparo do orifício piloto e da frequência de colocação do implante no seu torque de inserção e resistência ao arrancamento**. 2007. 112 f. Tese (Mestrado) – Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2007.

O objetivo do estudo foi avaliar a influência do diâmetro do orifício piloto e a frequência da colocação dos implantes no torque de inserção e na resistência ao arrancamento. Foram utilizados parafusos de 5, 6 e 7mm do sistema USS de fixação vertebral, os quais foram inseridos nos corpos de prova de madeira, poliuretana, polietileno e osso bovino. Para inserção dos implantes foram confeccionados com broca orifícios piloto com diâmetros menor, igual e maior que o diâmetro interno do parafuso. O torque de inserção dos parafusos avaliado nos corpos de prova de madeira foi mensurado por meio de torquímetro com capacidade de 5Nm, e nos demais corpos de prova foi utilizado torquímetro de 2Nm. Os ensaios mecânicos de arrancamento dos parafusos foram realizados utilizando máquina universal de ensaio Emic® e *Software Tesc 3.13* para análise dos resultados, utilizando células de carga com capacidade de 2000 N e 20000 N, selecionadas de acordo com a resistência mecânica de cada corpo de prova, e com velocidade de aplicação de força de 2 mm/min. Os valores do torque de inserção dos parafusos de 5, 6 e 7mm de diâmetro externo, nos diferentes materiais, apresentaram maiores valores de torque na primeira inserção, com exceção dos corpos de prova de poliuretana com orifício piloto de 5,5mm. O diâmetro do orifício piloto em relação ao diâmetro interno do parafuso apresentou influência no torque de inserção dos implantes, nos diferentes corpos de prova, observando maior torque de inserção nos corpos de prova com orifício piloto menor que o diâmetro interno do parafuso e menor torque de inserção nos corpos de prova com diâmetro do orifício piloto maior que o diâmetro interno do parafuso. A força máxima de arrancamento nos parafusos de 5, 6 e 7mm de diâmetro externo, inseridos nos diferentes corpos de prova, apresentaram maiores valores na primeira inserção nos diferentes diâmetros de orifício piloto. O diâmetro do orifício piloto em relação ao diâmetro interno do parafuso apresentou influência na força máxima de arrancamento dos implantes, nos diferentes corpos de prova, observando maior força de arrancamento nos corpos de prova com orifício piloto menor que o diâmetro interno do parafuso e menor força de arrancamento nos corpos de prova com diâmetro do orifício piloto maior que o diâmetro interno do parafuso. Podemos concluir que a frequência de colocação dos implantes influencia na qualidade da ancoragem. A realização de menor frequência de colocação dos implantes proporciona uma melhor fixação. A perfuração do orifício piloto com instrumental de menor diâmetro, em relação ao diâmetro interno do parafuso, tende a apresentar melhor fixação do parafuso que a perfuração com diâmetro maior.

Palavras-chave: Coluna Vertebral; Parafuso ósseo; Biomecânica.

ABSTRACT

ROSA, R.C. **Influence of the pilot hole preparation and screw frequency insertion of the implant on the insertion torque and pulling out resistance.** 2006. 112 f. Thesis (Master) – Faculty of Medicine of Ribeirão Preto, University of São Paulo, 2007

The aim of the study was to evaluate the influence of the diameter of the pilot hole and the frequency of screw placement on pullout resistance and insertion torque of the pedicle screw. Pedicle screws of 5, 6 and 7mm of the USS system for vertebral fixation were inserted into wood, polyurethane, polyethylene and bovine bone. The pilot hole for screw insertion was drilled with small, equal and wider than the internal diameter of the screw. The insertion torque was measured in the wood test bodies used a torquímetro with capacity of 5Nm, and other test bodies was used a torquímetro of 2Nm. Mechanical pullout assays were performed using a universal testing machine rehearsals of screws pullout were accomplished using universal machine Emic® and Software Tesc 3.13 for analysis of the results. Load cells were using with capacity of 2000 N and 20000 N, selected in agreement with the mechanical resistance of each test bodies. A constant displacement rate of 2mm/min was applied until failure. The values of the insertion torque of the screws of 5, 6 and 7mm of external diameter, in the different materials, they presented highest insertion torque in the first insert, in the different materials, except for the polyurethane test bodies with pilot hole of 5,5mm. The diameter of the pilot hole in relation to the internal diameter of the screw exerts an influence in the torque of insert of the implants. We observed highest insert torque in the test bodies with smaller pilot hole than the internal diameter of the screw and smaller insert torque in the proof bodies with diameter of the wider pilot hole than the internal diameter of the screw. The pullout resistance of the screws of 5, 6 and 7mm of external diameter performed highest values in the first screw insert, in the different diameters of pilot hole and test bodies. The diameter of the pilot hole in relation to the internal diameter of the screw exerts an influence in the pullout resistance of the implants. The highest pullout resistance was observed in the test bodies with smaller pilot hole than the internal diameter of the screw. The smaller pullout resistance was observed in the test bodies with diameter of the larger pilot hole than the internal diameter of the screw. We can conclude that the frequency of placement of the implants influences in the quality of the anchorage. The accomplishment of smaller frequency of placement of the implants provides a better fixation. The perforation of the pilot hole with instrumental of smaller diameter, in relation to the internal diameter of the screw, tends to present better fixation of the screw than the perforation with larger diameter.

Keywords: Spine; Bone Screw; Biomechanics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Desenho ilustrando as principais partes do parafuso do tipo esponjoso e cortical...	19
Figura 2: Corpo de prova em poliuretana.....	26
Figura 3: Corpo de prova de polietileno	27
Figura 4: Corpo de prova em madeira	28
Figura 5: Desenho esquemático da retirada dos corpo de prova de osso bovino	29
Figura 6: Corpo de prova de osso bovino	29
Figura 7: Parafusos pediculares.....	30
Figura 8: Conjunto de brocas utilizadas no preparo dos orifícios piloto.....	31
Figura 9: Modelo do gráfico obtido durante a análise do torque de inserção.....	33
Figura 10: Desenho esquemático dos ensaios mecânicos	34
Figura 11: Modelo da curva força x deformação obtida durante os ensaios mecânicos.....	35
Figura 12: Gráfico ilustrando o torque de inserção nas diferentes frequências de colocação dos parafusos de 5mm nos corpos de prova de madeira	38
Figura 13: Gráfico ilustrando o torque de inserção nas diferentes frequências de colocação dos parafusos de 5mm nos corpos de prova de poliuretana.....	40
Figura 14: Gráfico ilustrando o torque de inserção nas diferentes frequências de colocação dos parafusos de 5mm nos corpos de prova de polietileno	41
Figura 15: Gráfico ilustrando o torque de inserção nas diferentes frequências de colocação dos parafusos de 5mm nos corpos de prova de osso bovino	43
Figura 16: Gráfico ilustrando o torque de inserção nas diferentes frequências de colocação dos parafusos de 6mm nos corpos de prova de madeira	44
Figura 17: Gráfico ilustrando o torque de inserção nas diferentes frequências de colocação dos parafusos de 6mm nos corpos de prova de poliuretana.....	46
Figura 18: Gráfico ilustrando o torque de inserção nas diferentes frequências de colocação dos parafusos de 6mm nos corpos de prova de polietileno	47
Figura 19: Gráfico ilustrando o torque de inserção nas diferentes frequências de colocação dos parafusos de 6mm nos corpos de prova de osso bovino	49
Figura 20: Gráfico ilustrando o torque de inserção nas diferentes frequências de colocação dos parafusos de 7mm nos corpos de prova de madeira	51
Figura 21: Gráfico ilustrando o torque de inserção nas diferentes frequências de colocação dos parafusos de 7mm nos corpos de prova de poliuretana.....	52
Figura 22: Gráfico ilustrando o torque de inserção nas diferentes frequências de colocação dos parafusos de 7mm nos corpos de prova de polietileno	54
Figura 23: Gráfico ilustrando o torque de inserção nas diferentes frequências de colocação dos parafusos de 7mm nos corpos de prova de osso bovino	55

Figura 24: Gráfico ilustrando o torque de inserção dos parafusos de 5mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de madeira	57
Figura 25: Gráfico ilustrando o torque de inserção dos parafusos de 5mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de poliuretana	57
Figura 26: Gráfico ilustrando o torque de inserção dos parafusos de 5mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de polietileno.....	58
Figura 27: Gráfico ilustrando o torque de inserção dos parafusos de 5mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de osso bovino.....	58
Figura 28: Gráfico ilustrando o torque de inserção dos parafusos de 6mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de madeira	60
Figura 29: Gráfico ilustrando o torque de inserção dos parafusos de 6mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de poliuretana	60
Figura 30: Gráfico ilustrando o torque de inserção dos parafusos de 6mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de polietileno.....	61
Figura 31: Gráfico ilustrando o torque de inserção dos parafusos de 6mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de osso bovino.....	61
Figura 32: Gráfico ilustrando o torque de inserção dos parafusos de 7mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de madeira	63
Figura 33: Gráfico ilustrando o torque de inserção dos parafusos de 7mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de poliuretana	63
Figura 34: Gráfico ilustrando o torque de inserção dos parafusos de 7mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de polietileno.....	64
Figura 35: Gráfico ilustrando o torque de inserção dos parafusos de 7mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de osso bovino.....	64
Figura 36: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 5mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de madeira	66
Figura 37: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 5mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de poliuretana	67
Figura 38: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 5mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de polietileno.....	69
Figura 39: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 5mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de osso bovino.....	70
Figura 40: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 6mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de madeira	72
Figura 41: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 6mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de poliuretana	73
Figura 42: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 6mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de polietileno.....	75
Figura 43: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 6mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de osso bovino.....	76

Figura 44: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 7mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de madeira	78
Figura 45: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 7mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de poliuretana	79
Figura 46: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 7mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de polietileno.....	81
Figura 47: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 7mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de osso bovino.....	82
Figura 48: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 5mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de madeira	84
Figura 49: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 5mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de poliuretana	84
Figura 50: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 5mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de polietileno.....	85
Figura 51: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 5mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de osso bovino.....	85
Figura 52: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 6mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de madeira	86
Figura 53: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 6mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de poliuretana	87
Figura 54: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 6mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de polietileno.....	87
Figura 55: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 6mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de osso bovino.....	88
Figura 56: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 7mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de madeira	89
Figura 57: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 7mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de poliuretana	90
Figura 58: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 7mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de polietileno.....	90
Figura 59: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 7mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de osso bovino.....	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores da média do torque de inserção observado nas diferentes frequências de colocação nos parafusos de 5mm nos corpos de prova de madeira.....	38
Tabela 2: Valores da média do torque de inserção observado nas diferentes frequências de colocação nos parafusos de 5mm nos corpos de prova de poliuretana	39
Tabela 3: Valores da média do torque de inserção observado nas diferentes frequências de colocação nos parafusos de 5mm nos corpos de prova de polietileno	41
Tabela 4: Valores da média do torque de inserção observado nas diferentes frequências de colocação nos parafusos de 5mm nos corpos de prova de osso bovino	42
Tabela 5: Valores da média do torque de inserção observado nas diferentes frequências de colocação nos parafusos de 6mm nos corpos de prova de madeira.....	44
Tabela 6: Valores da média do torque de inserção observado nas diferentes frequências de colocação nos parafusos de 6mm nos corpos de prova de poliuretana	45
Tabela 7: Valores da média do torque de inserção observado nas diferentes frequências de colocação nos parafusos de 6mm nos corpos de prova de polietileno	47
Tabela 8: Valores da média do torque de inserção observado nas diferentes frequências de colocação nos parafusos de 6mm nos corpos de prova de osso bovino	48
Tabela 9: Valores da média do torque de inserção observado nas diferentes frequências de colocação nos parafusos de 7mm nos corpos de prova de madeira.....	50
Tabela 10: Valores da média do torque de inserção observado nas diferentes frequências de colocação nos parafusos de 7mm nos corpos de prova de poliuretana	52
Tabela 11: Valores da média do torque de inserção observado nas diferentes frequências de colocação nos parafusos de 7mm nos corpos de prova de polietileno	53
Tabela 12: Valores da média do torque de inserção observado nas diferentes frequências de colocação nos parafusos de 7mm nos corpos de prova de osso bovino	55
Tabela 13: Valores da média da força máxima de arrancamento observada nas diferentes frequências de colocação nos parafusos de 5mm nos corpos de prova de madeira	66
Tabela 14: Valores da média da força máxima de arrancamento observada nas diferentes frequências de colocação nos parafusos de 5mm nos corpos de prova de poliuretana	67
Tabela 15: Valores da média da força máxima de arrancamento observada nas diferentes frequências de colocação nos parafusos de 5mm nos corpos de prova de polietileno	68
Tabela 16: Valores da média da força máxima de arrancamento observada nas diferentes frequências de colocação nos parafusos de 5mm nos corpos de prova de osso bovino.....	70
Tabela 17: Valores da média da força máxima de arrancamento observada nas diferentes frequências de colocação nos parafusos de 6mm nos corpos de prova de madeira	71
Tabela 18: Valores da média da força máxima de arrancamento observada nas diferentes frequências de colocação nos parafusos de 6mm nos corpos de prova de poliuretana	73
Tabela 19: Valores da média da força máxima de arrancamento observada nas diferentes frequências de colocação nos parafusos de 6mm nos corpos de prova de polietileno	74

Tabela 20: Valores da média da força máxima de arrancamento observada nas diferentes frequências de colocação nos parafusos de 6mm nos corpos de prova de osso bovino..... 76

Tabela 21: Valores da média da força máxima de arrancamento observada nas diferentes frequências de colocação nos parafusos de 7mm nos corpos de prova de madeira 77

Tabela 22: Valores da média da força máxima de arrancamento observada nas diferentes frequências de colocação nos parafusos de 7mm nos corpos de prova de poliuretana 79

Tabela 23: Valores da média da força máxima de arrancamento observada nas diferentes frequências de colocação nos parafusos de 7mm nos corpos de prova de polietileno..... 80

Tabela 24: Valores da média da força máxima de arrancamento observada nas diferentes frequências de colocação nos parafusos de 7mm nos corpos de prova de osso bovino..... 82

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SINONÍMIAS

Arrancamento	- Arrancadura, extração.
Diâmetro Interno do Parafuso	- Diâmetro da alma ou diâmetro do cerne.
FMRP	- Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto
Macheamento	- Confecção inicial das roscas ao longo do orifício piloto com finalidade de acomodar o parafuso.
Macho de Rosca	- Instrumento utilizado para confecção de rosca.
Orifício Piloto	- Furo ou canal destinado à implantação do parafuso.
Parafuso Auto-macheante	- Auto-perfurante, auto-trefinante, auto-cortante, auto rosqueante.
Rosca do Parafuso	- Espira, filete de rosca.
Sonda	- Instrumento metálico em forma de haste com uma ponta romba ou cortante de utilização manual destinado à abertura do orifício piloto.
UHMWPE	- Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular
USP	- Universidade de São Paulo
USS	- <i>Universal Spine System</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	- Celsius (medida de temperatura)
cm	- centímetro
kg	- kilograma
Kg/m ³	- Kilograma por metro ao cubo
mm	- milímetro
mm/min	- milímetros por minuto
N	- Newton
N.m	- Newton vezes metro
%	- Porcentagem
s	- segundo

SUMÁRIO¹

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Morfologia dos Parafusos.....	18
1.2 Parafuso Pedicular	20
2 OBJETIVOS.....	24
3 MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1 Material	26
3.1.1 Corpos de Prova	26
3.1.1.1 Corpos de Prova de Poliuretano.....	26
3.1.1.2 Corpos de Prova de Polietileno	27
3.1.1.3 Corpos de Prova de Madeira.....	27
3.1.1.4 Corpos de Prova de Osso	28
3.1.2 Implantes	29
3.1.3 Brocas	30
3.2 Métodos	31
3.2.1 Grupos Experimentais.....	31
3.2.2 Avaliação do Torque de Inserção	32
3.2.3 Ensaio Mecânico	33
3.2.4 Análise Estatística	35
4 RESULTADOS.....	37
4.1 Torque de inserção e frequência de colocação do implante	37
4.1.1 Parafuso 5mm	37
4.1.2 Parafuso de 6mm	43
4.1.3 Parafuso 7mm	49
4.2 Torque de inserção e diâmetro do orifício piloto	56
4.2.1 Parafuso de 5mm	56
4.2.2 Parafuso de 6mm	59
4.2.3 Parafuso de 7mm	62
4.3 Força de arrancamento e frequência de colocação do implante	65
4.3.1 Parafuso de 5mm	65
4.3.2 Parafuso de 6mm	70
4.3.3 Parafuso de 7mm	76
4.4 Força de arrancamento e diâmetro do orifício piloto	83
4.4.1 Parafusos de 5mm	83
4.4.2 Parafusos de 6mm	85
4.4.3 Parafuso de 7mm	88
5 DISCUSSÃO	93
6 CONCLUSÕES	102
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104

¹ Normas de acordo com as Diretrizes para apresentação de dissertações e teses da USP: documento eletrônico e impresso – São Paulo – 2004.

INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

O tratamento das doenças da coluna vertebral requer freqüentemente a realização da fixação interna, para a estabilização temporária, enquanto ocorre à consolidação da artrodese, a solução biológica da fusão vertebral (VACCARO et al., 1995).

Os sistemas de fixação vertebral são constituídos por componentes de ancoragem (parafusos, ganchos, fios de cerclagem), longitudinais (hastes, placas) e transversais ou acessórios (arruelas e porcas).

Os componentes de ancoragem por sua vez, podem ser do tipo penetrante (parafusos) e não-penetrante (ganchos e fios de cerclagem). Atuam como ponto de ancoragem dos sistemas de fixação nas vértebras, sobre os quais as forças de correção ou de neutralização são aplicadas (BRANTKEY, MAYFIELD e KOENEMAN, 1994; BROWNER et al., 1998; HIRANO et al., 1997; KUHN et al., 1995; LASTRA e BENZEL, 2003). A ancoragem ou sustentação dos sistemas de fixação por meio dos parafusos ancorados sobre as vértebras é de fundamental importância para o desempenho das funções biomecânicas dos implantes aplicados na coluna vertebral. A falha na ancoragem do sistema de fixação pode estar relacionada com a falha mecânica do implante ou falha do tecido ósseo da vértebra (LASTRA e BENZEL, 2003; LAW, TENCER e ANDERSON, 1993). Como exemplo mais freqüente poderíamos citar a osteoporose (BRANTKEY, MAYFIELD e KOENEMAN, 1994; GEORG et al., 1991; HIRANO et al., 1997; LINDSEY et al., 1993). Neste tipo de osso, a fragilidade do tecido não fornece a resistência necessária para a ancoragem dos implantes e a sustentação das forças que são aplicadas sobre eles, ocorrendo com muita freqüência a soltura dos implantes da vértebra com conseqüente perda da sua função biomecânica de correção ou de

estabilização (BRANTKEY, MAYFIELD e KOENEMAN, 1994; COE, 1990; GEORG et al., 1991; HIRANO et al., 1997; LAW, TENCER e ANDERSON, 1993; LINDSEY et al., 1993).

1.1 Morfologia dos Parafusos

Os parafusos são considerados implantes do tipo penetrante, possuindo diferentes partes: cabeça, diâmetro externo, diâmetro interno, rosca, passo de rosca e diâmetro do corpo. O diâmetro externo é o maior diâmetro entre as bordas externas das roscas do parafuso. O diâmetro interno é o diâmetro do corpo do parafuso sobre o qual as roscas estão fixadas e não apresenta rosca. Os parafusos são de modo geral classificados, em corticais ou esponjosos, de acordo com o seu tipo de rosca e seu diâmetro interno. Os parafusos corticais apresentam menor diâmetro de rosca, menor passo de rosca e maior diâmetro interno. Os parafusos esponjosos apresentam maior diâmetro de rosca, maior passo de rosca e menor diâmetro interno (Figura 1).

Os parafusos possuem a capacidade de resistir às forças de cisalhamento, encurvamento e arrancamento (BROWNER et al., 1998; COE, 1990). Essas propriedades mecânicas estão relacionadas a sua geometria e dimensões das suas partes, e a qualidade do tecido ósseo no qual são implantados. A resistência às forças de cisalhamento está diretamente relacionada ao seu diâmetro interno, que é proporcional ao diâmetro interno da secção transversal do parafuso (LASTRA e BENZEL, 2003; ZDEBLICK et al., 1993). O desenho da rosca e o ângulo da sua inserção sobre a alma do parafuso (diâmetro interno) também influenciam na resistência do parafuso, pois a aplicação das forças sobre o parafuso é maior quando a inserção da rosca é em ângulo reto e menor quando é curvilínea (LASTRA

e BENZEL, 2003; ZDEBLICK et al., 1993). A resistência dos parafusos às forças de arrancamento está relacionada com o desenho das roscas do parafuso e qualidade do osso sobre o qual o parafuso está implantado (BROWNER et al., 1998; ZDEBLICK et al., 1993; ZINDRICK, WILTSE e WIDELL, 1986).

Figura 1: Desenho ilustrando as principais partes do parafuso do tipo esponjoso e cortical (Modificado de BROWNER et al., 2000)

A resistência do implante ao arrancamento é proporcional à superfície da rosca em contato com o tecido ósseo (BRANTLEY, MAYFIELD e KOENEMAN, 1994; COE, 1990; GEORG et al., 1991). A diferença entre o diâmetro externo e o diâmetro interno do parafuso aumenta a superfície da rosca em contato com a superfície óssea, aumentando desse modo a sua resistência ao arrancamento. O número de roscas por unidade de comprimento também aumenta a resistência ao arrancamento (LASTRA e BENZEL, 2003; ZDEBLICK et al., 1993).

A realização do orifício piloto é de fundamental importância para a colocação dos parafusos no interior do osso, pois estabelece as relações mecânicas entre o implante e o tecido ósseo. A técnica de perfuração depende do tipo de osso (cortical ou esponjoso) e do tipo de parafuso utilizado (SILVA, BARBOSA e CAMPOS, 2004; SOSHI, SHIBA e KONDO, 1991; WEINSTEIN, SPRATT e SPENGLER, 1988).

Os parafusos do tipo cortical necessitam do “macheamento” ou preparo do local de implantação das roscas do parafuso, enquanto que o “macheamento” não tem sido recomendado para os parafusos do tipo esponjoso (BROWNER et al., 1998; LASTRA e BENZEL, 2003). Para evitar a não realização dessa etapa técnica de preparo do local de implantação dos parafusos (macheamento), foram desenvolvidos os parafusos denominados de “automacheantes” (*self-tapping screw*) que foram desenhados para cortar e preparar o tecido ósseo durante a implantação das suas roscas. Esses parafusos apresentam superfície cortante na sua extremidade como consequência da sua forma e desenho especial, que permitem o corte do local de implantação das suas roscas, sem a necessidade do macheamento prévio (BRANTLEY, MAYFIELD e KOENEMAN, 1994; KORANYI, BOWMAN e KNECHT, 1970; LASTRA e BENZEL, 2003; SOSHI, SHIBA e KONDO, 1991).

1.2 Parafuso Pedicular

O surgimento dos parafusos pediculares possibilitou a realização da instrumentação segmentar da coluna mais estável, tornando-se atualmente procedimento padrão para realização das cirurgias de correção, estabilização de deformidade e instabilidade da coluna em patologias torácicas, lombares e sacrais.

Os parafusos pediculares tem sido muito utilizados nos sistemas de fixação vertebral devido às suas vantagens biomecânicas em relação aos demais implantes

(AEBI et al., 1987; BROWNER et al., 1998; WEINSTEIN, SPRATT e SPENGLER, 1988). Atualmente, pode ser considerado como o implante mais utilizado na cirurgia da coluna vertebral, tendo sido empregado no tratamento das lesões traumáticas, naquelas produzida por tumores ou lesões degenerativas da coluna vértebra (BROWNER et al., 1998; WEINSTEIN, SPRATT e SPENGLER, 1988; WHITE e PANJABI, 1990). O material utilizado na sua fabricação é o aço inoxidável ou titânio, que apresentam alto índice de biocompatibilidade tecidual (BROWNER et al., 1998; LASTRA e BENZEL, 2003; SCHULTZ, BOGER e DUNN, 1985).

A aplicação de qualquer implante na coluna vertebral requer o preparo do local no interior da vértebra, no qual o implante será colocado, denominado de orifício piloto. O preparo do orifício piloto consiste na produção de um espaço no interior do local anatômico da vértebra selecionado, para a colocação do implante que poderá ser o pedículo, o corpo vertebral, o processo transversos, o maciço articular, dentre outros. O orifício piloto pode ser realizado utilizando-se brocas, sondas ou curetas e o seu diâmetro deve ser considerado em relação ao diâmetro do implante a ser utilizado (BRANTLEY, MAYFIELD e KOENEMAN, 1994; GEORG et al., 1991; KORANYI, BOWMAN e KNECHT, 1970; KUHN et al., 1995). As variáveis relacionadas ao modo de preparo e o diâmetro do orifício piloto são de grande importância na aplicação dos componentes de ancoragem dos sistemas de fixação vertebral, pois podem interferir diretamente nesse sistema de fixação (HAHER et al., 1989; KUHN et al., 1995; LASTRA e BENZEL, 2003; ÖKTENOGLU et al., 2001).

Os problemas relacionados com a utilização do parafuso pedicular estão associados à quebra do parafuso ou ao arrancamento do parafuso do osso (DEFINO e VENDRAME, 2001; RENNER et al., 2004).

A resistência dos parafusos pediculares ao arrancamento está relacionada a diferentes fatores, destacando-se a densidade do osso, torque de inserção e características do implante (EGGLI, 1992; KORANYI, BOWMAN e KNECHT, 1970; KRAG, 1991). Segundo Abrahão, Shimano e Defino (2003) e Krag et al. (1986), a resistência ao arrancamento do parafuso pedicular é influenciada pelo seu perfil, diâmetro e dimensão da rosca. Aparentemente, a resistência ao arrancamento do parafuso do osso é um fator limitante na estabilização do implante, pelo menos durante os primeiros dias ou semanas após a cirurgia.

As relações do tecido ósseo ao redor dos parafusos e as variáveis que podem interferir nas suas propriedades mecânicas como a resistência ao arrancamento, forças de cisalhamento ou encurvamento foram muito estudadas nos parafusos do tipo cortical ou esponjoso utilizado nas fixações do esqueleto apendicular (BROWNER et al., 1998; GEORG et al., 1991; HIRANO et al., 1997; KORANYI, BOWMAN e KNECHT, 1970; LASTRA e BENZEL, 2003). No entanto, no âmbito dos implantes utilizados na cirurgia da coluna vertebral encontramos escassos estudos considerando as variáveis relacionadas com o preparo do orifício piloto. Adicionalmente, inúmeras questões relacionadas à técnica de colocação dos parafusos utilizados nos sistemas de fixação vertebral ainda permanecem sem resposta.

OBJETIVOS

2 OBJETIVOS

A realização da fixação interna da coluna vertebral e a utilização de parafusos pediculares esta associada à realização de orifícios piloto. Em algumas situações é necessária a colocação e a remoção dos implantes, seguida da sua reimplantação. Essas manobras levaram-nos a origem dos questionamentos desse trabalho: qual a influência do diâmetro do orifício piloto e da frequência da colocação dos implantes na resistência ao arrancamento dos parafusos.

O objetivo do estudo foi avaliar a influência do diâmetro do orifício piloto e a frequência da colocação dos implantes no torque de inserção e na resistência ao arrancamento.

MATERIAL E MÉTODOS

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Material

3.1.1 Corpos de Prova

Para a colocação dos implantes e realização dos ensaios mecânicos foram utilizados corpos de prova de poliuretana, polietileno, madeira e osso esponjoso bovino.

As dimensões dos corpos de prova foram estabelecidas de acordo com os pilotos, sendo estabelecidas de acordo com o manuseio do material e na facilidade da realização dos ensaios mecânicos de arrancamento.

3.1.1.1 Corpos de Prova de Poliuretana

Os corpos de prova de poliuretana eram constituídos de poliuretana expandida, obtido por meio da mistura do isocianato com polioliol (densidade de 40 Kg/m³). Os corpos de prova eram de forma cilíndrica e possuíam 27mm de altura e 30mm de diâmetro (Figura 2).

Figura 2: Corpo de prova em poliuretana

3.1.1.2 Corpos de Prova de Polietileno

O polietileno utilizado neste estudo é uma poliolefina de ultra-alto peso molecular, que apresenta inúmera utilização na engenharia mecânica e de materiais. Possui como principais características ser autolubrificante, ter baixo desgaste por abrasão e alta resistência ao impacto².

O polietileno de ultra-alto peso molecular (UHMWPE), utilizado neste estudo, é recomendado pela norma técnica de análise do sistema de fixação da coluna vertebral³.

Os corpos de prova possuíam a forma cilíndrica, com 30mm de diâmetros e 17 mm de altura (Figura 3).

Figura 3: Corpo de Prova de Polietileno

3.1.1.3 Corpos de Prova de Madeira

A madeira utilizada para confecção dos corpos de prova foi o pinus (espécie *Araucária Angustifolia*, popularmente conhecida como “Pinheiro-do-Paraná”,

² ABNT-NBR-14922: Semi-acabados de UHMW – Requisitos e métodos de ensaio.

³ ASTM – F 1717-04: Standard test for spinal implant constructs in a vertebrectomy model.

originária da Mata Atlântica). Possuíam a forma cilíndrica com altura de 13mm e diâmetro de 30mm (Figura 4).

Figura 4: Corpo de prova em madeira

3.1.1.4 Corpos de Prova de Osso

Os corpos de prova de osso eram constituídos da região metafisária central distal de fêmur bovino, adquiridos no frigorífico Barra Mansa Comércio e Derivados Ltda. no município de Sertãozinho-SP. Foram utilizados 400 fêmures bovinos selecionados aleatoriamente no centro de desossa do frigorífico. Foram confeccionados cilíndricos com 30mm de diâmetro e altura de 17mm (Figura 5).

A padronização dos corpos de prova de osso bovino foi realizada por meio da determinação da resistência mecânica. Foram realizados ensaios mecânicos não destrutivos na fase elástica do material, determinando a rigidez dos 400 corpos de prova, tendo sido selecionados para o estudo 300 corpos de prova com valores da rigidez próximos da média obtida (Figura 6).

Os corpos de prova de osso bovino foram conservados em freezer a -20°C. Antes da realização dos ensaios mecânicos eram colocados em geladeira durante 12 horas e mantidos por duas horas na temperatura ambiente.

Figura 5: Desenho esquemático da retirada dos corpo de prova de osso bovino

Figura 6: Corpo de Prova de Osso Bovino

3.1.2 Implantes

Foram utilizados no estudo parafusos do sistema USS de fixação vertebral (*Universal Spine System-Synthes*) de aço inoxidável. Os parafusos possuíam diâmetro externo de 5mm, 6mm e 7mm (Figura 7).

Os parafusos USS de 5,0mm possuem 3,8mm de diâmetro interno e 2,0mm passo de rosca. Os parafusos de 6,0mm possuem 4,8mm de diâmetro interno e 2,0mm de passo de rosca. Os parafusos de 7,0mm possuem 4,8mm de diâmetro interno e 2,5mm de passo de rosca.

Figura 7: Parafusos Pediculares

3.1.3 Brocas

A perfuração dos corpos de prova foi realizada por meio de brocas com os seguintes diâmetros: 3,0mm; 3,8mm; 4,0mm; 4,5mm; 4,8mm; 5,5mm e 6,5mm. A escolha do diâmetro das brocas esteve relacionada, com o diâmetro interno dos parafusos utilizados nos ensaios mecânicos.

Nos ensaios com o parafuso de 5mm de diâmetro externo, que apresentam 3,8mm de diâmetro interno, foram utilizadas brocas com diâmetro: 3,0mm, 3,8mm e 4,5mm (Figura 8_A); que correspondem respectivamente ao diâmetro menor, igual e maior que o diâmetro interno do parafuso. No ensaios mecânicos com o parafuso de 6mm de diâmetro externo, que apresentam 4,8mm de diâmetro interno, foram utilizado as seguintes diâmetros de brocas: 4,0mm, 4,8mm e 5,5mm (Figura 8_B). Nos

ensaios com os parafusos de 7mm de diâmetro externo, que apresentam 4,8mm de diâmetro interno, foram utilizadas as brocas com diâmetro de: 4,0mm, 4,8 mm, 5,5mm e 6,5mm (Figura 8c).

Figura 8: Conjunto de brocas utilizadas no preparo dos orifícios piloto. A- Brocas utilizadas para colocação dos parafusos de 5mm: a) 3,0mm; b) 3,8mm e c) 4,5mm. B- Brocas utilizadas para colocação dos parafusos de 6mm: a) 4,0mm; b) 4,8mm e c) 5,5mm. C- Brocas utilizadas para colocação dos parafusos de 7mm: a) 4,0mm; b) 4,8mm, c) 5,5mm e d) 6,5mm.

3.2 Métodos

3.2.1 Grupos Experimentais

Foram formados três grupos experimentais de acordo com o número de inserção e reinserção dos parafusos. No grupo I os parafusos eram inseridos após a realização do orifício piloto, o torque da sua inserção era mensurado, seguido do ensaio de arrancamento. No grupo II os parafusos eram inseridos, após a realização do orifício piloto, e removidos e novamente reinseridos no mesmo orifício. O torque de inserção era mensurado durante as duas inserções do parafuso e o ensaio de arrancamento mecânico realizado após a segunda inserção do parafuso. No grupo III os passos do grupo II eram repetidos, e os parafusos eram novamente removidos e reinseridos no mesmo orifício piloto. O torque de inserção era mensurado durante

as três colocações e os ensaios de arrancamento realizados após a terceira inserção do parafuso. Dentro de cada grupo experimental as variáveis estudadas foram o diâmetro externo do parafuso, o diâmetro do orifício piloto e o tipo de corpo de prova utilizado.

3.2.2 Avaliação do Torque de Inserção

O torque de inserção dos parafusos avaliado nos corpos de prova de madeira foi mensurado por meio de torquímetro com capacidade de 5Nm, e nos demais corpos de prova foi utilizado torquímetro de 2Nm⁴.

O toque de inserção dos parafusos foi avaliado de acordo com a frequência da colocação dos implantes, que variou em três inserções.

Para o registro das medidas do torque de inserção dos parafusos, os torquímetros foram acoplados a placa de interface da máquina universal de ensaio, permitindo assim a construção de uma curva de torque em função do tempo, através do *Software Tesc 3.13*.

O registro das medidas de torque foi realizado em doze intervalos de tempo de cinco segundos. Em cada intervalo era acionado um sinal sonoro para determinação do início da inserção. Desta forma, a cada sinal sonoro era realizado a inserção do parafuso no material, através da rotação do corpo de prova em 90 graus.

Foi considerado o maior valor de torque obtido nos doze intervalos, sendo que os valores do torque de cada intervalo foram identificados durante a realização das medidas.

⁴ Os torquímetros utilizados neste estudo foram confeccionados no Laboratório de Bioengenharia da FMRP – USP.

A Figura 9 apresenta o modelo do gráfico obtido durante a análise do torque de inserção.

Figura 9: Modelo do gráfico obtido durante a análise do torque de inserção

3.2.3 Ensaio Mecânico

Os parafusos foram submetidos a ensaios mecânicos de arrancamento, por meio de força axial compressiva aplicada na sua extremidade inferior, utilizando máquina universal de ensaio Emic®⁵ e *Software Tesc 3.13* para a análise dos resultados.

A análise dos resultados foi realizada através da curva força x deformação, construída durante a realização dos testes mecânicos (Figura 11).

Os ensaios foram realizados com células de carga com capacidade de 2000N e 20000N, escolhidas de acordo com resistência mecânica de cada material dos corpos de prova, e velocidade de aplicação de força de 2mm/min.

⁵ Máquina Universal de Ensaio da Marca Emic®, modelo DL-10000.

Os corpos de prova foram apoiados em uma plataforma fixa com um orifício, para o posicionamento da cabeça do parafuso. O acoplamento do implante à célula de carga (parte móvel) foi obtido por meio de um parafuso com orifício cônico (Figura 10).

Em todos os ensaios mecânicos foi utilizada uma pré-carga, para acomodação do sistema, e um tempo de acomodação de 10 segundos. Para o poliuretano e o osso bovino foi utilizada a pré-carga de 5N. Para o polietileno e a madeira a pré-carga utilizada foi de 50N.

A escolha da célula de carga, pré-carga e tempo de acomodação foram determinados através do estudo piloto do comportamento mecânico dos implantes nos modelos experimentais.

Figura 10: Desenho esquemático dos ensaios mecânicos

Figura 11: Modelo da curva Força X Deformação obtida durante os ensaios mecânicos

3.2.4 Análise Estatística

Os dados obtidos foram analisados através do método estatístico denominado Análise de Variância Multifatorial (ANOVA Multifatorial), ocorrendo diferença significativa entre os grupos experimentais utilizamos o teste *post hoc* de Bonferroni para a especificação das diferenças entre os grupos estudados. Foi estabelecido nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS

4 Resultados

Os resultados serão apresentados de acordo com as variáveis estudadas nos grupos experimentais.

4.1 Torque de inserção e frequência de colocação do implante

4.1.1 Parafuso 5mm

O resultados do torque de inserção dos parafusos de 5mm de diâmetro externo inseridos nos diferentes corpos de prova, com os diferentes orifícios piloto, estão representados nas tabelas 1, 2, 3 e 4.

Os parafusos de 5mm de diâmetro externo inserido nos corpos de prova de madeira com o orifício piloto de 3,0mm de diâmetro apresentaram a média do torque na primeira inserção de $0,9192 \pm 0,2421$ Nm, de $0,5346 \pm 0,2082$ Nm na segunda inserção, e de $0,3908 \pm 0,1839$ Nm na terceira inserção. Com o orifício piloto de 3,8mm de diâmetro a média do torque na primeira inserção foi de $0,8634 \pm 0,3221$ Nm, de $0,4897 \pm 0,1642$ Nm na segunda inserção e de $0,3639 \pm 0,1571$ Nm na terceira inserção. No orifício piloto de 4,5mm de diâmetro a média do torque na primeira inserção foi de $0,4096 \pm 0,3093$ Nm, de $0,1810 \pm 0,0923$ Nm na segunda inserção e de $0,1784 \pm 0,1005$ Nm na terceira inserção. Foi observada diferença estatística significativa entre os valores do torque da primeira inserção com os valores da segunda e terceira inserção nos diâmetros do orifício piloto de 3,0mm, 3,8mm e 4,5mm ($p < 0,001$).

Tabela 1: Valores da média do torque de inserção observado nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 5mm nos corpos de prova de madeira

Brocas	Freqüência Colocação	Torque de Inserção (Nm)	Desvio Padrão (Nm)	Amostra
3,0mm	1ª Inserção	0,9192*	0,2421	10
	2ª Inserção	0,5346**	0,2082	10
	3ª Inserção	0,3908***	0,1839	10
3,8mm	1ª Inserção	0,8634*	0,3221	10
	2ª Inserção	0,4897**	0,1642	10
	3ª Inserção	0,3639***	0,1571	10
4,5mm	1ª Inserção	0,4096*	0,3093	10
	2ª Inserção	0,1810**	0,0923	10
	3ª Inserção	0,1784***	0,1005	10

Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre os valores das inserções.

A figura 12 ilustra o torque de inserção nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 5mm nos corpos de prova de madeira.

Torque de inserção (madeira - parafuso 5mm)

Figura 12: Gráfico ilustrando o torque de inserção nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 5mm nos corpos de prova de madeira. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções

Os parafusos de 5mm de diâmetro externo inserido nos corpos de prova de poliuretana com o orifício piloto de 3,0mm de diâmetro apresentaram a média do torque na primeira inserção de $0,0297 \pm 0,0083$ Nm, de $0,0211 \pm 0,0024$ Nm na segunda inserção, e de $0,0200 \pm 0,0024$ Nm na terceira inserção. Com o orifício piloto de 3,8mm de diâmetro a média do torque na primeira inserção foi de $0,0189 \pm 0,0030$ Nm, de $0,0128 \pm 0,0033$ Nm na segunda inserção e de $0,0121 \pm 0,0035$ Nm na terceira inserção. No orifício piloto de 4,5mm de diâmetro a média do torque na primeira inserção foi de $0,0052 \pm 0,0025$ Nm, de $0,0047 \pm 0,0016$ Nm na segunda inserção e de $0,0042 \pm 0,0010$ Nm na terceira inserção. Foi observada diferença estatística significativa entre os valores do torque da primeira inserção com os valores da segunda e terceira inserção nos diâmetros do orifício piloto de 3,0mm e 3,8mm ($p < 0,001$). Não foi observada diferença estatística significativa entre os valores do torque da primeira inserção com os valores da segunda e terceira inserção nos diâmetros do orifício piloto de 4,5mm.

Tabela 2: Valores da média do torque de inserção observado nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 5mm nos corpos de prova de poliuretana

Brocas	Freqüência Colocação	Torque de Inserção (Nm)	Desvio Padrão (Nm)	Amostra
3,0mm	1ª Inserção	0,0297*	0,0083	10
	2ª Inserção	0,0211**	0,0024	10
	3ª Inserção	0,0200**	0,0024	10
3,8m	1ª Inserção	0,0189*	0,0030	10
	2ª Inserção	0,0128**	0,0033	10
	3ª Inserção	0,0121**	0,0035	10
4,5mm	1ª Inserção	0,0052	0,0025	10
	2ª Inserção	0,0047	0,0016	10
	3ª Inserção	0,0042	0,0010	10

Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre os valores das inserções.

A figura 13 ilustra o torque de inserção nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 5mm nos corpos de prova de poliuretana.

Torque de inserção (poliuretana - parafuso 5mm)

Figura 13: Gráfico ilustrando o torque de inserção nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 5mm nos corpos de prova de poliuretana. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções

Os parafusos de 5mm de diâmetro externo inserido nos corpos de prova de polietileno com o orifício piloto de 3,0mm de diâmetro apresentaram a média do torque na primeira inserção de $0,7308 \pm 0,1113$ Nm, de $0,6031 \pm 0,0633$ Nm na segunda inserção, e de $0,6000 \pm 0,0642$ Nm na terceira inserção. Com o orifício piloto de 3,8mm de diâmetro a média do torque na primeira inserção foi de $0,6818 \pm 0,0420$ Nm, de $0,5016 \pm 0,0516$ Nm na segunda inserção e de $0,4529 \pm 0,0522$ Nm na terceira inserção. No orifício piloto de 4,5mm de diâmetro a média do torque na primeira inserção foi de $0,3090 \pm 0,0289$ Nm, de $0,2256 \pm 0,0318$ Nm na segunda inserção e de $0,2079 \pm 0,0224$ Nm na terceira inserção. Foi observada diferença estatística significativa entre os valores do torque da primeira inserção com os valores da segunda e terceira inserção nos diferentes diâmetros do orifício piloto ($p < 0,001$).

A figura 14 ilustra o torque de inserção nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 5mm nos corpos de prova de polietileno.

Tabela 3: Valores da média do torque de inserção observado nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 5mm nos corpos de prova de polietileno

Brocas	Freqüência Colocação	Torque de Inserção (Nm)	Desvio Padrão (Nm)	Amostra
3,0mm	1ª Inserção	0,7308*	0,1113	10
	2ª Inserção	0,6031**	0,0633	10
	3ª Inserção	0,6000**	0,0642	10
3,8m	1ª Inserção	0,6818*	0,0420	10
	2ª Inserção	0,5016**	0,0516	10
	3ª Inserção	0,4529**	0,0522	10
4,5mm	1ª Inserção	0,3090*	0,0289	10
	2ª Inserção	0,2256**	0,0318	10
	3ª Inserção	0,2079**	0,0224	10

Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre os valores das inserções.

Torque de inserção (polietileno - parafuso 5mm)

Figura 14: Gráfico ilustrando o torque de inserção nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 5mm nos corpos de prova de polietileno. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Os parafusos de 5mm de diâmetro externo inserido nos corpos de prova de osso bovino com o orifício piloto de 3,0mm de diâmetro apresentaram a média do torque na primeira inserção de $0,4110 \pm 0,1718$ Nm, de $0,2718 \pm 0,1346$ Nm na segunda inserção, e de $0,2404 \pm 0,1163$ Nm na terceira inserção. Com o orifício piloto de 3,8mm de diâmetro a média do torque na primeira inserção foi de $0,2421 \pm 0,1919$ Nm, de $0,1262 \pm 0,1005$ Nm na segunda inserção e de $0,0976 \pm 0,0682$ Nm na terceira inserção. No orifício piloto de 4,5mm de diâmetro a média do torque na primeira inserção foi de $0,1431 \pm 0,0987$ Nm, de $0,0528 \pm 0,0300$ Nm na segunda inserção e de $0,0346 \pm 0,0164$ Nm na terceira inserção. Foi observada diferença estatística significativa entre os valores do torque da primeira inserção com os valores da segunda e terceira inserção nos diferentes diâmetros do orifício piloto ($p < 0,001$).

A figura 15 ilustra o torque de inserção nas diferentes frequências de colocação dos parafusos de 5mm nos corpos de prova de osso bovino.

Tabela 4: Valores da média do torque de inserção observado nas diferentes frequências de colocação dos parafusos de 5mm nos corpos de prova de osso bovino

Brocas	Frequência Colocação	Torque de Inserção (Nm)	Desvio Padrão (Nm)	Amostra
3,0mm	1ª Inserção	0,4110*	0,1718	10
	2ª Inserção	0,2718**	0,1346	10
	3ª Inserção	0,2404**	0,1163	10
3,8m	1ª Inserção	0,2421*	0,1919	10
	2ª Inserção	0,1262**	0,1005	10
	3ª Inserção	0,0976**	0,0682	10
4,5mm	1ª Inserção	0,1431*	0,0987	10
	2ª Inserção	0,0528**	0,0300	10
	3ª Inserção	0,0346**	0,0164	10

Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre os valores das inserções.

Torque de Inserção (osso bovino - parafuso 5mm)

Figura 15: Gráfico ilustrando o torque de inserção nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 5mm nos corpos de prova de osso bovino. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções

4.1.2 Parafuso de 6mm

O resultados do torque de inserção dos parafusos de 6mm de diâmetro externo inseridos nos diferentes corpos de prova, com os diferentes diâmetros de orifícios piloto, estão representados nas tabelas 5, 6, 7 e 8.

Os parafusos de 6mm de diâmetro externo inserido nos corpos de prova de madeira com o orifício piloto de 4,0mm de diâmetro apresentaram a média do torque na primeira inserção de $1,5543 \pm 0,7090$ Nm, de $1,2113 \pm 0,2629$ Nm na segunda inserção, e de $1,0734 \pm 0,2288$ Nm na terceira inserção. Com o orifício piloto de 4,8mm de diâmetro a média do torque na primeira inserção foi de $1,2559 \pm 0,5218$ Nm, de $1,0021 \pm 0,3596$ Nm na segunda inserção e de $0,8979 \pm 0,3452$ Nm na terceira inserção. No orifício piloto de 5,5mm de diâmetro a média do torque na primeira inserção foi de $0,7138 \pm 0,3781$ Nm, de $0,5261 \pm 0,2647$ Nm na segunda inserção e de $0,4810 \pm 0,2636$ Nm na terceira inserção. Foi observada diferença estatística significativa entre os valores do torque da primeira inserção com os

valores da segunda e terceira inserção nos diferentes diâmetros do orifício piloto ($p < 0,001$).

Tabela 5: Valores da média do torque de inserção observado nas diferentes freqüências de colocação nos parafusos de 6mm nos corpos de prova de madeira

Brocas	Freqüência Colocação	Torque de Inserção (Nm)	Desvio Padrão (Nm)	Amostra
4,0mm	1ª Inserção	1,5543*	0,7090	10
	2ª Inserção	1,2113**	0,2629	10
	3ª Inserção	1,0734**	0,2288	10
4,8m	1ª Inserção	1,2559*	0,5218	10
	2ª Inserção	1,0021**	0,3596	10
	3ª Inserção	0,8979**	0,3452	10
5,5mm	1ª Inserção	0,7138*	0,3781	10
	2ª Inserção	0,5261**	0,2647	10
	3ª Inserção	0,4810**	0,2636	10

Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre os valores das inserções.

A figura 16 ilustra o torque de inserção nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 6mm nos corpos de prova de madeira.

Torque de inserção (madeira - parafuso 6mm)

Figura 16: Gráfico ilustrando o torque de inserção nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 6mm nos corpos de prova de madeira. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções

Os parafusos de 6mm de diâmetro externo inserido nos corpos de prova de poliuretana com o orifício piloto de 4,0mm de diâmetro apresentaram a média do torque na primeira inserção de $0,0346 \pm 0,0063$ Nm, de $0,0275 \pm 0,0059$ Nm na segunda inserção, e de $0,0258 \pm 0,0056$ Nm na terceira inserção. Com o orifício piloto de 4,8mm de diâmetro a média do torque na primeira inserção foi de $0,0236 \pm 0,0039$ Nm, de $0,0171 \pm 0,0023$ Nm na segunda inserção e de $0,0163 \pm 0,0029$ Nm na terceira inserção. No orifício piloto de 5,5mm de diâmetro a média do torque na primeira inserção foi de $0,0047 \pm 0,0027$ Nm, de $0,0045 \pm 0,0008$ Nm na segunda inserção e de $0,0038 \pm 0,0024$ Nm na terceira inserção. Foi observada diferença estatística significativa entre os valores do torque da primeira inserção com os valores da segunda e terceira inserção, com exceção do diâmetro do orifício piloto de 5,5mm, todos os diferentes diâmetros do orifício piloto ($p < 0,001$).

A figura 17 ilustra o torque de inserção nas diferentes frequências de colocação dos parafusos de 6mm nos corpos de prova de poliuretana.

Tabela 6: Valores da média do torque de inserção observado nas diferentes frequências de colocação nos parafusos de 6mm nos corpos de prova de poliuretana

Brocas	Frequência Colocação	Torque de Inserção (Nm)	Desvio Padrão (Nm)	Amostra
4,0mm	1ª Inserção	0,0346*	0,0063	10
	2ª Inserção	0,0275**	0,0059	10
	3ª Inserção	0,0258**	0,0056	10
4,8m	1ª Inserção	0,0236*	0,0039	10
	2ª Inserção	0,0171**	0,0023	10
	3ª Inserção	0,0163**	0,0029	10
5,5mm	1ª Inserção	0,0047	0,0027	10
	2ª Inserção	0,0045	0,0008	10
	3ª Inserção	0,0038	0,0024	10

Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre os valores das inserções.

Torque de inserção (poliuretana - parafuso 6mm)

Figura 17: Gráfico ilustrando o torque de inserção nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 6mm nos corpos de prova de poliuretana. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Os parafusos de 6mm de diâmetro externo inserido nos corpos de prova de polietileno com o orifício piloto de 4,0mm de diâmetro apresentaram a média do torque na primeira inserção de $1,1143 \pm 0,1026$ Nm, de $0,9510 \pm 0,1315$ Nm na segunda inserção, e de $0,8837 \pm 0,1026$ Nm na terceira inserção. Com o orifício piloto de 4,8mm de diâmetro a média do torque na primeira inserção foi de $1,0392 \pm 0,0815$ Nm, de $0,8326 \pm 0,0880$ Nm na segunda inserção e de $0,7509 \pm 0,1139$ Nm na terceira inserção. No orifício piloto de 5,5mm de diâmetro a média do torque na primeira inserção foi de $0,4722 \pm 0,0446$ Nm, de $0,3459 \pm 0,0542$ Nm na segunda inserção e de $0,3049 \pm 0,0517$ Nm na terceira inserção. Foi observada diferença estatística significativa entre os valores do torque da primeira inserção com os valores da segunda e terceira inserção nos diferentes diâmetros do orifício piloto ($p < 0,001$).

A figura 18 ilustra o torque de inserção nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 6mm nos corpos de prova de polietileno.

Tabela 7: Valores da média do torque de inserção observado nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 6mm nos corpos de prova de polietileno

Brocas	Freqüência Colocação	Torque de Inserção (Nm)	Desvio Padrão (Nm)	Amostra
4,0mm	1ª Inserção	1,1143*	0,1026	10
	2ª Inserção	0,9510**	0,1315	10
	3ª Inserção	0,8837***	0,1026	10
4,8mm	1ª Inserção	1,0392*	0,0815	10
	2ª Inserção	0,8326**	0,0880	10
	3ª Inserção	0,7509***	0,1139	10
5,5mm	1ª Inserção	0,4722*	0,0446	10
	2ª Inserção	0,3459**	0,0542	10
	3ª Inserção	0,3049***	0,0517	10

Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre os valores das inserções.

Torque de inserção (polietileno - parafuso 6mm)

Figura 18: Gráfico ilustrando o torque de inserção nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 6mm nos corpos de prova de polietileno. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Os parafusos de 6mm de diâmetro externo inserido nos corpos de prova de osso bovino com o orifício piloto de 4,0mm de diâmetro apresentaram a média do torque na primeira inserção de $0,6022 \pm 0,3201$ Nm, de $0,3793 \pm 0,2228$ Nm na segunda inserção, e de $0,3321 \pm 0,1848$ Nm na terceira inserção. Com o orifício piloto de 4,8mm de diâmetro a média do torque na primeira inserção foi de $0,3049 \pm 0,1003$ Nm, de $0,1287 \pm 0,0532$ Nm na segunda inserção e de $0,0910 \pm 0,0371$ Nm

na terceira inserção. No orifício piloto de 5,5mm de diâmetro a média do torque na primeira inserção foi de $0,1380 \pm 0,0935$ Nm, de $0,0624 \pm 0,0322$ Nm na segunda inserção e de $0,0459 \pm 0,0258$ Nm na terceira inserção. Foi observada diferença estatística significativa entre os valores do torque da primeira inserção com os valores da segunda e terceira inserção nos diferentes diâmetros do orifício piloto ($p < 0,001$).

A figura 19 ilustra o torque de inserção nas diferentes frequências de colocação dos parafusos de 6mm nos corpos de prova de osso bovino.

Tabela 8: Valores da média do torque de inserção observado nas diferentes frequências de colocação dos parafusos de 6mm nos corpos de prova de osso bovino

Brocas	Frequência Colocação	Torque de Inserção (Nm)	Desvio Padrão (Nm)	Amostra
4,0mm	1ª Inserção	0,6022*	0,3201	10
	2ª Inserção	0,3793**	0,2228	10
	3ª Inserção	0,3321***	0,1848	10
4,8m	1ª Inserção	0,3049*	0,1003	10
	2ª Inserção	0,1287**	0,0532	10
	3ª Inserção	0,0910***	0,0371	10
5,5mm	1ª Inserção	0,1380*	0,0935	10
	2ª Inserção	0,0624**	0,0322	10
	3ª Inserção	0,0459***	0,0258	10

Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre os valores das inserções.

Torque de Inserção (osso bovino - parafuso 6mm)

Figura 19: Gráfico ilustrando o torque de inserção nas diferentes frequências de colocação dos parafusos de 6mm nos corpos de prova de osso bovino. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

4.1.3 Parafuso 7mm

O resultados do torque de inserção dos parafusos de 7mm de diâmetro externo inseridos nos diferentes corpos de prova, com os diferentes diâmetros de orifícios piloto, estão representados nas tabelas 9, 10, 11 e 12.

Os parafusos de 7mm de diâmetro externo inserido nos corpos de prova de madeira com o orifício piloto de 4,0mm de diâmetro apresentaram a média do torque na primeira inserção de $2,1503 \pm 0,6561$ Nm, de $1,2033 \pm 0,2937$ Nm na segunda inserção, e de $1,0321 \pm 0,3726$ Nm na terceira inserção. Com o orifício piloto de 4,8mm de diâmetro a média do torque na primeira inserção foi de $1,7017 \pm 0,4193$ Nm, de $1,1192 \pm 0,3830$ Nm na segunda inserção e de $0,9609 \pm 0,2780$ Nm na terceira inserção. No orifício piloto de 5,5mm de diâmetro a média do torque na primeira inserção foi de $1,6709 \pm 0,6008$ Nm, de $0,8599 \pm 0,3954$ Nm na segunda inserção e de $0,7772 \pm 0,3730$ Nm na terceira inserção. No orifício piloto de 6,5mm de diâmetro a média do torque na primeira inserção foi de $0,9499 \pm 0,2315$ Nm, de

0,4953 $\pm$ 0,1399 Nm na segunda inserção e de 0,3681 $\pm$ 0,1477 Nm na terceira inserção. Foi observada diferença estatística significativa entre os valores do torque da primeira inserção com os valores da segunda e terceira inserção nos diferentes diâmetros do orifício piloto ($p < 0,001$).

Tabela 9: Valores da média do torque de inserção observado nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 7mm nos corpos de prova de madeira

Brocas	Freqüência Colocação	Torque de Inserção (Nm)	Desvio Padrão (Nm)	Amostra
4,0mm	1ª Inserção	2,1503*	0,6561	10
	2ª Inserção	1,2033**	0,2937	10
	3ª Inserção	1,0321**	0,3726	10
4,8mm	1ª Inserção	1,7017*	0,4193	10
	2ª Inserção	1,1192**	0,3830	10
	3ª Inserção	0,9609**	0,2780	10
5,5mm	1ª Inserção	1,6709*	0,6008	10
	2ª Inserção	0,8599**	0,3954	10
	3ª Inserção	0,7772**	0,3730	10
6,5mm	1ª Inserção	0,9499*	0,2315	10
	2ª Inserção	0,4953**	0,1399	10
	3ª Inserção	0,3681**	0,1477	10

Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre os valores das inserções.

A figura 20 ilustra o torque de inserção nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 7mm nos corpos de prova de madeira.

Torque de inserção (madeira - parafuso de 7mm)

Figura 20: Gráfico ilustrando o torque de inserção nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 7mm nos corpos de prova de madeira. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Os parafusos de 7mm de diâmetro externo inserido nos corpos de prova de poliuretana com o orifício piloto de 4,0mm de diâmetro apresentaram a média do torque na primeira inserção de $0,0522 \pm 0,0093$ Nm, de $0,0351 \pm 0,0062$ Nm na segunda inserção, e de $0,0319 \pm 0,0045$ Nm na terceira inserção. Com o orifício piloto de 4,8mm de diâmetro a média do torque na primeira inserção foi de $0,0307 \pm 0,0056$ Nm, de $0,0241 \pm 0,0057$ Nm na segunda inserção e de $0,0218 \pm 0,0051$ Nm na terceira inserção. No orifício piloto de 5,5mm de diâmetro a média do torque na primeira inserção foi de $0,0212 \pm 0,0048$ Nm, de $0,0152 \pm 0,0043$ Nm na segunda inserção e de $0,0127 \pm 0,0032$ Nm na terceira inserção. No orifício piloto de 6,5mm de diâmetro a média do torque na primeira inserção foi de $0,0068 \pm 0,0015$ Nm, de $0,0059 \pm 0,0013$ Nm na segunda inserção e de $0,0057 \pm 0,0016$ Nm na terceira inserção. Foi observada diferença estatística significativa entre os valores do torque da primeira inserção com os valores da segunda e terceira inserção nos diferentes diâmetros do orifício piloto ($p < 0,001$).

A figura 21 ilustra o torque de inserção nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 7mm nos corpos de prova de poliuretana.

Tabela 10: Valores da média do torque de inserção observado nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 7mm nos corpos de prova de poliuretana

Brocas	Freqüência Colocação	Torque de Inserção (Nm)	Desvio Padrão (Nm)	Amostra
4,0mm	1ª Inserção	0,0522*	0,0093	10
	2ª Inserção	0,0351**	0,0062	10
	3ª Inserção	0,0319***	0,0045	10
4,8mm	1ª Inserção	0,0307*	0,0056	10
	2ª Inserção	0,0241**	0,0057	10
	3ª Inserção	0,0218***	0,0051	10
5,5mm	1ª Inserção	0,0212*	0,0048	10
	2ª Inserção	0,0152**	0,0043	10
	3ª Inserção	0,0127***	0,0032	10
6,5mm	1ª Inserção	0,0068*	0,0015	10
	2ª Inserção	0,0059**	0,0013	10
	3ª Inserção	0,0057***	0,0016	10

Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre os valores das inserções.

Torque de inserção (poliuretana - parafuso 7mm)

Figura 21: Gráfico ilustrando o torque de inserção nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 7mm nos corpos de prova de poliuretana. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Os parafusos de 7mm de diâmetro externo inserido nos corpos de prova de polietileno com o orifício piloto de 4,0mm de diâmetro apresentaram a média do

torque na primeira inserção de $1,7224 \pm 0,2748$ Nm, de $1,2665 \pm 0,1119$ Nm na segunda inserção, e de $1,1446 \pm 0,1303$ Nm na terceira inserção. Com o orifício piloto de 4,8mm de diâmetro a média do torque na primeira inserção foi de $1,1970 \pm 0,1249$ Nm, de $1,0325 \pm 0,1326$ Nm na segunda inserção e de $0,9934 \pm 0,1636$ Nm na terceira inserção. No orifício piloto de 5,5mm de diâmetro a média do torque na primeira inserção foi de $1,0972 \pm 0,0953$ Nm, de $0,7739 \pm 0,0722$ Nm na segunda inserção e de $0,7398 \pm 0,0930$ Nm na terceira inserção. No orifício piloto de 6,5mm de diâmetro a média do torque na primeira inserção foi de $0,4907 \pm 0,0490$ Nm, de $0,3730 \pm 0,0475$ Nm na segunda inserção e de $0,3235 \pm 0,0444$ Nm na terceira inserção. Foi observada diferença estatística significativa entre os valores do torque da primeira inserção com os valores da segunda e terceira inserção nos diferentes diâmetros do orifício piloto ($p < 0,001$).

Tabela 11: Valores da média do torque de inserção observado nas diferentes frequências de colocação dos parafusos de 7mm nos corpos de prova de polietileno

Brocas	Frequência Colocação	Torque de Inserção (Nm)	Desvio Padrão (Nm)	Amostra
4,0mm	1ª Inserção	1,7224*	0,2748	10
	2ª Inserção	1,2665**	0,1119	10
	3ª Inserção	1,1446**	0,1303	10
4,8mm	1ª Inserção	1,1970*	0,1249	10
	2ª Inserção	1,0325**	0,1326	10
	3ª Inserção	0,9934**	0,1636	10
5,5mm	1ª Inserção	1,0972*	0,0953	10
	2ª Inserção	0,7739**	0,0722	10
	3ª Inserção	0,7398**	0,0930	10
6,5mm	1ª Inserção	0,4907*	0,0490	10
	2ª Inserção	0,3730**	0,0475	10
	3ª Inserção	0,3235**	0,0444	10

Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre os valores das inserções.

A figura 22 ilustra o torque de inserção nas diferentes frequências de colocação dos parafusos de 7mm nos corpos de prova de polietileno.

Torque de inserção (polietileno - parafuso 7mm)

Figura 22: Gráfico ilustrando o torque de inserção nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 7mm nos corpos de prova de polietileno. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Os parafusos de 7mm de diâmetro externo inserido nos corpos de prova de osso bovino com o orifício piloto de 4,0mm de diâmetro apresentaram a média do torque na primeira inserção de $0,5018 \pm 0,2544$ Nm, de $0,3571 \pm 0,2250$ Nm na segunda inserção, e de $0,2890 \pm 0,1888$ Nm na terceira inserção. Com o orifício piloto de 4,8mm de diâmetro a média do torque na primeira inserção foi de $0,2681 \pm 0,1240$ Nm, de $0,1916 \pm 0,1890$ Nm na segunda inserção e de $0,1470 \pm 0,1341$ Nm na terceira inserção. No orifício piloto de 5,5mm de diâmetro a média do torque na primeira inserção foi de $0,3061 \pm 0,1875$ Nm, de $0,1436 \pm 0,0922$ Nm na segunda inserção e de $0,1106 \pm 0,0742$ Nm na terceira inserção. No orifício piloto de 6,5mm de diâmetro a média do torque na primeira inserção foi de $0,1192 \pm 0,0434$ Nm, de $0,0406 \pm 0,0192$ Nm na segunda inserção e de $0,0256 \pm 0,0120$ Nm na terceira inserção. Foi observada diferença estatística significativa entre os valores do torque da primeira inserção com os valores da segunda e terceira inserção nos diferentes diâmetros do orifício piloto ($p < 0,001$).

A figura 23 ilustra o torque de inserção nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 7mm nos corpos de prova de osso bovino.

Tabela 12: Valores da média do torque de inserção observado nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 7mm nos corpos de prova de osso bovino

Brocas	Freqüência Colocação	Torque de Inserção (Nm)	Desvio Padrão (Nm)	Amostra
4,0mm	1ª Inserção	0,5018*	0,2544	10
	2ª Inserção	0,3571**	0,2250	10
	3ª Inserção	0,2890**	0,1888	10
4,8mm	1ª Inserção	0,2681*	0,1240	10
	2ª Inserção	0,1916**	0,1890	10
	3ª Inserção	0,1470**	0,1341	10
5,5mm	1ª Inserção	0,3061*	0,1875	10
	2ª Inserção	0,1436**	0,0922	10
	3ª Inserção	0,1106**	0,0742	10
6,5mm	1ª Inserção	0,1192*	0,0434	10
	2ª Inserção	0,0406**	0,0192	10
	3ª Inserção	0,0256**	0,0120	10

Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre os valores das inserções.

Torque de Inserção (osso bovino - parafuso 7mm)

Figura 23: Gráfico ilustrando o torque de inserção nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 7mm nos corpos de prova de osso bovino. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

4.2 Torque de inserção e diâmetro do orifício piloto

4.2.1 Parafuso de 5mm

Os valores do torque de inserção dos parafusos de 5mm de diâmetro externo inseridos nos corpos de prova de madeira com orifício piloto de 3,0mm e 3,8mm foram maiores e apresentaram diferença estatística significativa em relação aos valores observados nos corpos de prova com orifício piloto com 4,5mm de diâmetro ($p < 0,001$). Nos corpos de prova de poliuretana e polietileno os valores do torque de inserção com orifícios piloto de 3,0mm foram maiores em relação aos de 3,8mm ($p < 0,001$), e os valores dos orifícios de 3,8mm foram maiores que os de 4,5mm ($p < 0,001$). Nos corpos de prova de osso bovino os valores do torque de inserção com orifício piloto de 3,0mm foram maiores que os de 3,8mm ($p < 0,001$), e os valores de 3,8mm maiores que os de 4,5mm ($p = 0,03$). Essas diferenças estatísticas foram observadas nos três grupos experimentais, considerando-se a frequência da inserção dos parafusos.

As figuras 24, 25, 26, 27 ilustram o torque de inserção dos parafusos de 5mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de madeira, poliuretana, polietileno e osso bovino, respectivamente.

Torque de inserção (madeira - parafuso 5mm)

Figura 24: Gráfico ilustrando o torque de inserção dos parafusos de 5mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de madeira. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Torque de inserção (poliuretana - parafuso 5mm)

Figura 25: Gráfico ilustrando o torque de inserção dos parafusos de 5mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de poliuretana. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Torque de inserção (polietileno - parafuso 5mm)

Figura 26: Gráfico ilustrando o torque de inserção dos parafusos de 5mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de polietileno. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Torque de Inserção (osso bovino - parafuso 5mm)

Figura 27: Gráfico ilustrando o torque de inserção dos parafusos de 5mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de osso bovino. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

4.2.2 Parafuso de 6mm

Os valores do torque de inserção dos parafusos de 6mm de diâmetro externo inseridos nos corpos de prova de madeira com orifício piloto de 4,0mm foram maiores e apresentaram diferença estatística significativa em relação aos valores observados nos corpos de prova com orifício piloto de 4,8mm ($p < 0,001$), os quais apresentaram significativamente maiores valores de torque de inserção que os orifícios de 5,5mm ($p < 0,001$). Nos corpos de prova de poliuretana e polietileno os valores do torque de inserção com orifícios piloto de 3,0mm foram maiores em relação aos de 3,8mm ($p < 0,001$), e os valores dos orifícios de 3,8mm foram maiores que os de 4,5mm ($p < 0,001$). Nos corpos de prova de osso bovino os valores do torque de inserção com orifício piloto de 3,0mm foram maiores que os de 3,8mm ($p < 0,001$), e os valores de 3,8mm maiores que os de 4,5mm ($p < 0,05$). Essas diferenças estatísticas foram observadas nos três grupos experimentais, considerando-se a frequência da inserção dos parafusos.

As figuras 28, 29, 30 e 31 ilustram o torque de inserção dos parafusos de 6mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de madeira, poliuretana, polietileno e osso bovino, respectivamente.

Torque de inserção (madeira - parafuso 6mm)

Figura 28: Gráfico ilustrando o torque de inserção dos parafusos de 6mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de madeira. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Torque de inserção (poliuretana - parafuso 6mm)

Figura 29: Gráfico ilustrando o torque de inserção dos parafusos de 6mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de poliuretana. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Torque de inserção (polietileno - parafuso 6mm)

Figura 30: Gráfico ilustrando o torque de inserção dos parafusos de 6mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de polietileno. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Torque de Inserção (osso bovino - parafuso 6mm)

Figura 31: Gráfico ilustrando o torque de inserção dos parafusos de 6mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de osso bovino. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

4.2.3 Parafuso de 7mm

Os valores do torque de inserção dos parafusos de 7mm de diâmetro externo inseridos nos corpos de prova de madeira com orifício piloto de 6,5mm foram menores e apresentaram diferença estatística significativa em relação aos valores observados nos corpos de prova com orifício piloto de 4,0mm, 4,8mm e 5,5mm ($p < 0,001$), os quais não apresentaram diferença significativa. Nos corpos de prova de poliuretana e polietileno os valores do torque de inserção com orifícios piloto de 4,0mm foram maiores em relação aos de 4,8mm ($p < 0,001$), e os valores dos orifícios de 4,8mm foram maiores que os de 5,5mm ($p < 0,001$), o qual foi maior que o de 6,5mm ($p < 0,001$). Nos corpos de prova de osso bovino os valores do torque de inserção com orifício piloto de 4,0mm foram maiores que os de 4,8mm, 5,5mm e 6,5mm ($p < 0,001$), os valores do torque de inserção com orifício piloto de 4,8mm e 5,5mm não apresentaram diferença significativa, no entanto apresentaram valores maiores que os de 6,5mm ($p = 0,003$ e $p = 0,01$, respectivamente). Essas diferenças estatísticas foram observadas nos três grupos experimentais, considerando-se a frequência da inserção dos parafusos.

As figuras 32, 33, 34 e 35 ilustram o torque de inserção dos parafusos de 7mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de madeira, poliuretana, polietileno e osso bovino, respectivamente.

Torque de inserção (madeira - parafuso de 7mm)

Figura 32: Gráfico ilustrando o torque de inserção dos parafusos de 7mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de madeira. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Torque de inserção (poliuretana - parafuso 7mm)

Figura 33: Gráfico ilustrando o torque de inserção dos parafusos de 7mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de poliuretana. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Torque de inserção (polietileno - parafuso 7mm)

Figura 34: Gráfico ilustrando o torque de inserção dos parafusos de 7mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de polietileno. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Torque de Inserção (osso bovino - parafuso 7mm)

Figura 35: Gráfico ilustrando o torque de inserção dos parafusos de 7mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de osso bovino. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

4.3 Força de arrancamento e frequência de colocação do implante

4.3.1 Parafuso de 5mm

Os resultados da força máxima de arrancamento dos parafusos de 5mm de diâmetro externo inseridos nos diferentes corpos de prova, com os diferentes diâmetros de orifícios piloto, estão representados nas tabelas 13, 14, 15 e 16.

Os parafusos de 5mm de diâmetro externo inserido nos corpos de prova de madeira com o orifício piloto de 3,0mm de diâmetro apresentaram a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção de $1964,03 \pm 527,56$ N, de $1849,73 \pm 255,91$ N na segunda inserção, e de $1808,98 \pm 287,11$ N na terceira inserção. Com o orifício piloto de 3,8mm de diâmetro a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção foi de $1961,11 \pm 377,87$ N, de $1703,17 \pm 338,66$ N na segunda inserção e de $1627,31 \pm 345,24$ N na terceira inserção. No orifício piloto de 4,5mm de diâmetro a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção foi de $1305,17 \pm 854,41$ N, de $887,04 \pm 289,06$ N na segunda inserção e de $729,47 \pm 193,80$ N na terceira inserção. Foi observada diferença estatística significativa entre os valores da força máxima de arrancamento entre a primeira e a segunda inserção ($p = 0,05$); e entre a primeira e a terceira inserção ($p = 0,005$).

A figura 36 ilustra a força de arrancamento nas diferentes frequências de colocação dos parafusos de 5mm nos corpos de prova de madeira.

Tabela 13: Valores da média da força máxima de arrancamento observada nas diferentes frequências de colocação nos parafusos de 5mm nos corpos de prova de madeira

Brocas	Frequência Colocação	Força de Arrancamento (N)	Desvio Padrão (N)	Amostra
3,0mm	1ª Inserção	1964,03*	527,56	10
	2ª Inserção	1849,73**	255,91	10
	3ª Inserção	1808,98**	287,11	10
3,8mm	1ª Inserção	1961,11*	377,87	10
	2ª Inserção	1703,17**	388,66	10
	3ª Inserção	1627,31**	345,24	10
4,5mm	1ª Inserção	1305,17*	854,41	10
	2ª Inserção	887,04**	289,06	10
	3ª Inserção	729,47**	193,79	10

Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre os valores das inserções.

Força de arrancamento (madeira - parafuso 5mm)

Figura 36: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 5mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de madeira. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Os parafusos de 5mm de diâmetro externo inserido nos corpos de prova de poliuretana com o orifício piloto de 3,0mm de diâmetro apresentaram a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção é de $55,65 \pm 5,88$ N, de $55,42 \pm 6,28$ N na segunda inserção, e de $51,37 \pm 4,64$ N na terceira inserção. Com o orifício piloto de 3,8mm de diâmetro a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção foi de $37,93 \pm 3,88$ N, de $35,36 \pm 2,49$ N na segunda inserção e de $34,28 \pm 3,85$ N na terceira inserção. No orifício piloto de 4,5mm de diâmetro a média da força

máxima de arrancamento na primeira inserção foi de $14,87 \pm 5,75$ N, de $8,81 \pm 2,53$ N na segunda inserção e de $8,50 \pm 1,62$ N na terceira inserção. Foi observada diferença estatística significativa entre os valores da força máxima de arrancamento entre a primeira e a segunda inserção ($p = 0,03$); e entre a primeira e a terceira inserção ($p < 0,001$).

A figura 37 ilustra a força de arrancamento nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 5mm nos corpos de prova de poliuretana.

Tabela 14: Valores da média da força máxima de arrancamento observada nas diferentes freqüências de colocação nos parafusos de 5mm nos corpos de prova de poliuretana

Brocas	Freqüência Colocação	Força de Arrancamento (N)	Desvio Padrão (N)	Amostra
3,0mm	1ª Inserção	55,65*	5,88	10
	2ª Inserção	55,42**	6,28	10
	3ª Inserção	51,37**	4,63	10
3,8m	1ª Inserção	37,93*	3,88	10
	2ª Inserção	35,36**	2,49	10
	3ª Inserção	34,28**	3,85	10
4,5mm	1ª Inserção	14,87*	5,75	10
	2ª Inserção	8,81**	2,53	10
	3ª Inserção	8,50**	1,62	10

Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre os valores das inserções.

Força de arrancamento (poliuretana - parafuso 5mm)

Figura 37: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 5mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de poliuretana. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Os parafusos de 5mm de diâmetro externo inserido nos corpos de prova de polietileno com o orifício piloto de 3,0mm de diâmetro apresentaram a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção de $2012,45 \pm 309,92$ N, de $1929,44 \pm 267,43$ N na segunda inserção, de $1870,02 \pm 270,69$ N na terceira inserção. Com o orifício piloto de 3,8mm de diâmetro a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção foi de $1544,20 \pm 235,36$ N, de $1337,57 \pm 177,99$ N na segunda inserção e de $1336,02 \pm 172,78$ N na terceira inserção. No orifício piloto de 4,5mm de diâmetro a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção foi de $813,57 \pm 166,07$ N, de $553,50 \pm 91,49$ N na segunda inserção e de $525,20 \pm 182,66$ N na terceira inserção. Foi observada diferença estatística significativa entre os valores da força máxima de arrancamento entre a primeira e a segunda inserção ($p = 0,005$); e entre a primeira e a terceira inserção ($p = 0,001$).

A figura 38 ilustra a força de arrancamento nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 5mm nos corpos de prova de polietileno.

Tabela 15: Valores da média da força máxima de arrancamento observada nas diferentes freqüências de colocação nos parafusos de 5mm nos corpos de prova de polietileno

Brocas	Freqüência Colocação	Força de Arrancamento (N)	Desvio Padrão (N)	Amostra
3,0mm	1ª Inserção	2012,45*	309,92	10
	2ª Inserção	1929,44**	267,43	10
	3ª Inserção	1870,02**	270,69	10
3,8m	1ª Inserção	1544,20*	235,36	10
	2ª Inserção	1337,57**	177,99	10
	3ª Inserção	1336,02**	172,78	10
4,5mm	1ª Inserção	813,57*	166,07	10
	2ª Inserção	553,50**	91,49	10
	3ª Inserção	525,20**	182,66	10

Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre os valores das inserções.

Força de arrancamento (polietileno - parafuso 5mm)

Figura 38: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 5mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de polietileno. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Os parafusos de 5mm de diâmetro externo inserido nos corpos de prova de osso bovino com o orifício piloto de 3,0mm de diâmetro apresentaram a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção de $640,80 \pm 207,91$ N, de $539,40 \pm 248,80$ N na segunda inserção, e de $494,70 \pm 148,90$ N na terceira inserção. Com o orifício piloto de 3,8mm de diâmetro a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção foi de $432,10 \pm 224,40$ N, de $362,70 \pm 133,10$ N na segunda inserção e de $327,30 \pm 105,30$ N na terceira inserção. No orifício piloto de 4,5mm de diâmetro a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção foi de $306,90 \pm 140,00$ N, de $250,40 \pm 104,60$ N na segunda inserção e de $197,40 \pm 51,10$ N na terceira inserção. Não foi observada diferença estatística significativa entre a primeira, a segunda e a terceira inserção.

A figura 39 ilustra a força de arrancamento nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 5mm nos corpos de prova de osso bovino.

Tabela 16: Valores da média da força máxima de arrancamento observada nas diferentes frequências de colocação nos parafusos de 5mm nos corpos de prova de osso bovino

Brocas	Frequência Colocação	Força de Arrancamento (N)	Desvio Padrão (N)	Amostra
3,0mm	1ª Inserção	640,80*	207,91	10
	2ª Inserção	539,40	248,80	10
	3ª Inserção	494,70**	148,90	10
3,8m	1ª Inserção	432,10*	224,40	10
	2ª Inserção	362,70	133,10	10
	3ª Inserção	327,30**	105,30	10
4,5mm	1ª Inserção	306,90*	140,00	10
	2ª Inserção	250,40	104,60	10
	3ª Inserção	197,40**	51,10	10

Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre os valores das inserções.

Força de arrancamento (osso bovino - parafuso 5mm)

Figura 39: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 5mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de osso bovino. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

4.3.2 Parafuso de 6mm

Os resultados da força máxima de arrancamento dos parafusos de 6mm de diâmetro externo inseridos nos diferentes corpos de prova, com os diferentes diâmetros de orifícios piloto, estão representados nas tabelas 17, 18, 19 e 20.

Os parafusos de 6mm de diâmetro externo inserido nos corpos de prova de madeira com o orifício piloto de 4,0mm de diâmetro apresentaram a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção de $2448,17 \pm 470,79$ N, de $2177,19 \pm$

530,93 N na segunda inserção, e de $1910,17 \pm 439,94$ N na terceira inserção. Com o orifício piloto de 4,8mm de diâmetro a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção foi de $2207,03 \pm 486,09$ N, de $1928,51 \pm 559,48$ N na segunda inserção e de $1825,62 \pm 463,81$ N na terceira inserção. No orifício piloto de 5,5mm de diâmetro a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção foi de $1668,87 \pm 646,00$ N, de $1215,34 \pm 499,42$ N na segunda inserção e de $1201,34 \pm 579,28$ N na terceira inserção. Foi observada diferença estatística significativa entre a primeira e a segunda inserção ($p = 0,04$), e entre a primeira e a terceira inserção ($p = 0,003$).

A figura 40 ilustra a força de arrancamento nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 6mm nos corpos de prova de madeira.

Tabela 17: Valores da média da força máxima de arrancamento observada nas diferentes freqüências de colocação nos parafusos de 6mm nos corpos de prova de madeira

Brocas	Freqüência Colocação	Força de Arrancamento (N)	Desvio Padrão (N)	Amostra
4,0mm	1ª Inserção	2448,17*	470,80	10
	2ª Inserção	2177,19**	530,93	10
	3ª Inserção	1910,17**	439,94	10
4,8m	1ª Inserção	2207,03*	486,09	10
	2ª Inserção	1928,51**	559,48	10
	3ª Inserção	1825,62**	463,81	10
5,5mm	1ª Inserção	1668,87*	646,00	10
	2ª Inserção	1215,34**	499,42	10
	3ª Inserção	1201,34**	579,28	10

Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre os valores das inserções.

Força de arrancamento (madeira - parafuso 6mm)

Figura 40: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 6mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de madeira. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Os parafusos de 6mm de diâmetro externo inserido nos corpos de prova de poliuretana com o orifício piloto de 4,0mm de diâmetro apresentaram a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção de $65,18 \pm 9,99$ N, de $62,19 \pm 9,11$ N na segunda inserção, e de $56,26 \pm 9,60$ N na terceira inserção. Com o orifício piloto de 4,8mm de diâmetro a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção foi de $44,00 \pm 7,97$ N, de $42,18 \pm 5,02$ N na segunda inserção e de $38,66 \pm 7,42$ N na terceira inserção. No orifício piloto de 5,5mm de diâmetro a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção foi de $11,22 \pm 4,39$ N, de $10,98 \pm 1,37$ N na segunda inserção e de $9,73 \pm 2,37$ N na terceira inserção. Foi observada diferença estatística significativa entre a primeira e a terceira inserção ($p = 0,02$).

A figura 41 ilustra a força de arrancamento nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 6mm nos corpos de prova de poliuretana.

Tabela 18: Valores da média da força máxima de arrancamento observada nas diferentes frequências de colocação nos parafusos de 6mm nos corpos de prova de poliuretana

Brocas	Frequência Colocação	Força de Arrancamento (N)	Desvio Padrão (N)	Amostra
4,0mm	1ª Inserção	65,18*	9,99	10
	2ª Inserção	62,19	9,11	10
	3ª Inserção	56,26**	9,60	10
4,8mm	1ª Inserção	44,00*	7,97	10
	2ª Inserção	42,18	5,02	10
	3ª Inserção	38,66**	7,42	10
5,5mm	1ª Inserção	11,22*	4,39	10
	2ª Inserção	10,98	1,37	10
	3ª Inserção	9,73**	2,37	10

Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre os valores das inserções.

Força de arrancamento (poliuretana - parafuso 6mm)

Figura 41: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 6mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de poliuretana. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Os parafusos de 6mm de diâmetro externo inserido nos corpos de prova de polietileno com o orifício piloto de 4,0mm de diâmetro apresentaram a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção de $2397,21 \pm 642,85$ N, de $2385,47 \pm 346,68$ N na segunda inserção, e de $2166,14 \pm 366,37$ N na terceira inserção. Com o orifício piloto de 4,8mm de diâmetro a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção foi de $2252,31 \pm 315,28$ N, de $2178,17 \pm 350,31$ N na segunda inserção e de $1663,04 \pm 307,79$ N na terceira inserção. No orifício

piloto de 5,5mm de diâmetro a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção foi de $1301,03 \pm 233,96$ N, de $975,70 \pm 241,71$ N na segunda inserção e de $871,58 \pm 329,89$ N na terceira inserção. Não foi observada diferença estatística significativa entre a primeira e a segunda inserção, tendo sido observada diferença estatística significativa entre a primeira e a terceira inserção ($p < 0,001$), e entre a segunda e a terceira inserção ($p = 0,01$).

A figura 42 ilustra a força de arrancamento nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 6mm nos corpos de prova de polietileno.

Tabela 19: Valores da média da força máxima de arrancamento observada nas diferentes freqüências de colocação nos parafusos de 6mm nos corpos de prova de polietileno

Brocas	Freqüência Colocação	Força de Arrancamento (N)	Desvio Padrão (N)	Amostra
4,0mm	1ª Inserção	2397,21*	642,85	10
	2ª Inserção	2385,47*	346,68	10
	3ª Inserção	2166,14**	366,37	10
4,8m	1ª Inserção	2252,31*	315,28	10
	2ª Inserção	2178,17*	350,31	10
	3ª Inserção	1663,04**	307,79	10
5,5mm	1ª Inserção	1301,03*	233,96	10
	2ª Inserção	975,70*	241,71	10
	3ª Inserção	871,58**	329,89	10

Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre os valores das inserções.

Força de arrancamento (polietileno - parafuso 6mm)

Figura 42: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 6mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de polietileno. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Os parafusos de 6mm de diâmetro externo inserido nos corpos de prova de osso bovino com o orifício piloto de 4,0mm de diâmetro apresentaram a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção de $984,37 \pm 410,62$ N, de $829,95 \pm 267,43$ N na segunda inserção, e de $644,35 \pm 358,06$ N na terceira inserção. Com o orifício piloto de 4,8mm de diâmetro a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção foi de $714,54 \pm 406,99$ N, de $642,08 \pm 226,93$ N na segunda inserção e de $544,60 \pm 216,84$ N na terceira inserção. No orifício piloto de 5,5mm de diâmetro a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção foi de $359,76 \pm 169,83$ N, de $273,22 \pm 159,48$ N na segunda inserção e de $261,27 \pm 76,02$ N na terceira inserção. Foi observada diferença estatística significativa entre a primeira e a terceira inserção ($p = 0,006$).

A figura 43 ilustra a força de arrancamento nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 6mm nos corpos de prova de osso bovino.

Tabela 20: Valores da média da força máxima de arrancamento observada nas diferentes frequências de colocação nos parafusos de 6mm nos corpos de prova de osso bovino

Brocas	Frequência Colocação	Força de Arrancamento (N)	Desvio Padrão (N)	Amostra
4,0mm	1ª Inserção	984,37*	410,62	10
	2ª Inserção	829,95	267,43	10
	3ª Inserção	644,35**	358,06	10
4,8mm	1ª Inserção	714,54*	406,99	10
	2ª Inserção	642,08	226,93	10
	3ª Inserção	544,60**	216,84	10
5,5mm	1ª Inserção	359,76*	169,83	10
	2ª Inserção	273,22	159,48	10
	3ª Inserção	261,27**	76,02	10

Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre os valores das inserções.

Força de arrancamento (osso bovino - parafuso 6mm)

Figura 43: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 6mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de osso bovino. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

4.3.3 Parafuso de 7mm

Os resultados da força máxima de arrancamento dos parafusos de 7mm de diâmetro externo inseridos nos diferentes corpos de prova, com os diferentes diâmetros de orifícios piloto, estão representados nas tabelas 21, 22, 23 e 24.

Os parafusos de 7mm de diâmetro externo inserido nos corpos de prova de madeira com o orifício piloto de 4,0mm de diâmetro apresentaram a média da força

máxima de arrancamento na primeira inserção de $3104,74 \pm 603,91$ N, de $2447,04 \pm 684,59$ N na segunda inserção, e de $2286,94 \pm 509,00$ N na terceira inserção. Com o orifício piloto de 4,8mm de diâmetro a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção foi de $2858,61 \pm 284,65$ N, de $2424,30 \pm 485,90$ N na segunda inserção e de $2281,60 \pm 733,35$ N na terceira inserção. No orifício piloto de 5,5mm de diâmetro a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção foi de $2509,52 \pm 552,31$ N, de $2370,09 \pm 702,76$ N na segunda inserção e de $2230,62 \pm 501,13$ N na terceira inserção. No orifício piloto de 6,5mm de diâmetro a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção foi de $2244,91 \pm 143,78$ N, de $1085,04 \pm 615,18$ N na segunda inserção, e de $1063,64 \pm 607,32$ N na terceira inserção. Foi observada diferença estatística significativa entre a primeira e a segunda inserção ($p < 0,001$), e entre a primeira e a terceira inserção ($p < 0,001$).

A figura 44 ilustra a força de arrancamento nas diferentes frequências de colocação dos parafusos de 7mm nos corpos de prova de madeira.

Tabela 21: Valores da média da força máxima de arrancamento observada nas diferentes frequências de colocação nos parafusos de 7mm nos corpos de prova de madeira

Brocas	Frequência Colocação	Força de Arrancamento (N)	Desvio Padrão (N)	Amostra
4,0mm	1ª Inserção	3104,74*	603,91	10
	2ª Inserção	2447,04**	684,59	10
	3ª Inserção	2286,95**	509,00	10
4,8mm	1ª Inserção	2858,61*	284,65	10
	2ª Inserção	2424,30**	485,90	10
	3ª Inserção	2281,60**	733,35	10
5,5mm	1ª Inserção	2509,52*	552,31	10
	2ª Inserção	2370,09**	702,76	10
	3ª Inserção	2230,62**	501,13	10
6,5mm	1ª Inserção	2244,91*	143,78	10
	2ª Inserção	1085,04**	615,18	10
	3ª Inserção	1063,64**	607,33	10

Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre os valores das inserções.

Força de arrancamento (madeira - parafuso 7mm)

Figura 44: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 7mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de madeira. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Os parafusos de 7mm de diâmetro externo inserido nos corpos de prova de poliuretana com o orifício piloto de 4,0mm de diâmetro apresentaram a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção de $87,90 \pm 8,20$ N, de $80,13 \pm 7,71$ N na segunda inserção, e de $80,06 \pm 5,74$ N na terceira inserção. Com o orifício piloto de 4,8mm de diâmetro a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção foi de $74,04 \pm 7,49$ N, de $72,34 \pm 6,93$ N na segunda inserção e de $71,46 \pm 7,69$ N na terceira inserção. No orifício piloto de 5,5mm de diâmetro a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção foi de $55,74 \pm 9,55$ N, de $44,93 \pm 11,41$ N na segunda inserção e de $41,40 \pm 11,85$ N na terceira inserção. No orifício piloto de 6,5mm de diâmetro a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção foi de $13,60 \pm 4,05$ N, de $13,01 \pm 3,94$ N na segunda inserção, e de $10,72 \pm 3,21$ na terceira inserção. Foi observada diferença estatística significativa entre a primeira e a segunda inserção ($p = 0,009$), e entre a primeira e a terceira inserção ($p < 0,001$).

A figura 45 ilustra a força de arrancamento nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 7mm nos corpos de prova de poliuretana.

Tabela 22: Valores da média da força máxima de arrancamento observada nas diferentes freqüências de colocação nos parafusos de 7mm nos corpos de prova de poliuretana

Brocas	Freqüência Colocação	Força de Arrancamento (N)	Desvio Padrão (N)	Amostra
4,0mm	1ª Inserção	87,90*	8,20	10
	2ª Inserção	80,13**	7,71	10
	3ª Inserção	80,06**	5,74	10
4,8mm	1ª Inserção	74,04*	7,49	10
	2ª Inserção	72,34**	6,93	10
	3ª Inserção	71,46**	7,69	10
5,5mm	1ª Inserção	55,74*	9,55	10
	2ª Inserção	44,93**	11,41	10
	3ª Inserção	41,40**	11,85	10
6,5mm	1ª Inserção	13,60*	4,05	10
	2ª Inserção	13,01**	3,94	10
	3ª Inserção	10,72**	3,21	10

Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre os valores das inserções.

Força de arrancamento (poliuretana - parafuso 7mm)

Figura 45: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 7mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de poliuretana. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Os parafusos de 7mm de diâmetro externo inserido nos corpos de prova de polietileno com o orifício piloto de 4,0mm de diâmetro apresentaram a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção de $2374,45 \pm 269,23$ N, de $2292,23 \pm 399,44$ N na segunda inserção, e de $1946,62 \pm 189,77$ N na terceira inserção. Com o orifício piloto de 4,8mm de diâmetro a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção foi de $2327,96 \pm 235,90$ N, de $2244,07 \pm 239,41$ N na segunda inserção e de $1932,26 \pm 190,89$ N na terceira inserção. No orifício piloto de 5,5mm de diâmetro a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção foi de $1747,31 \pm 272,84$ N, de $1453,59 \pm 132,33$ N na segunda inserção e de $1439,73 \pm 260,19$ N na terceira inserção. No orifício piloto de 6,5mm de diâmetro a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção foi de $902,90 \pm 304,71$ N, de $638,33 \pm 134,22$ N na segunda inserção, e de $477,47 \pm 152,78$ N na terceira inserção. Foi observada diferença estatística entre a primeira e a segunda inserção ($p = 0,004$), entre a segunda e a terceira inserção ($p = 0,001$), e entre a primeira e a terceira inserção ($p < 0,001$).

Tabela 23: Valores da média da força máxima de arrancamento observada nas diferentes frequências de colocação nos parafusos de 7mm nos corpos de prova de polietileno

Brocas	Frequência Colocação	Força de Arrancamento (N)	Desvio Padrão (N)	Amostra
4,0mm	1ª Inserção	2374,45*	269,23	10
	2ª Inserção	2292,23**	399,44	10
	3ª Inserção	1946,62***	189,77	10
4,8m	1ª Inserção	2327,96*	235,90	10
	2ª Inserção	2244,07**	239,41	10
	3ª Inserção	1932,26***	190,89	10
5,5mm	1ª Inserção	1747,31*	272,84	10
	2ª Inserção	1453,59**	132,33	10
	3ª Inserção	1439,73***	260,19	10
6,5mm	1ª Inserção	902,90*	304,71	10
	2ª Inserção	638,33**	134,22	10
	3ª Inserção	477,47***	152,78	10

Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre os valores das inserções.

A figura 46 ilustra a força de arrancamento nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 7mm nos corpos de prova de polietileno.

Força de arrancamento (polietileno - parafuso 7mm)

Figura 46: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 7mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de polietileno. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Os parafusos de 7mm de diâmetro externo inserido nos corpos de prova de osso bovino com o orifício piloto de 4,0mm de diâmetro apresentaram a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção de $981,99 \pm 431,31$ N, de $859,32 \pm 333,34$ N na segunda inserção, e de $767,68 \pm 318,84$ N na terceira inserção. Com o orifício piloto de 4,8mm de diâmetro a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção foi de $942,91 \pm 251,42$ N, de $672,49 \pm 401,30$ N na segunda inserção e de $575,48 \pm 291,63$ N na terceira inserção. No orifício piloto de 5,5mm de diâmetro a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção foi de $746,09 \pm 469,54$ N, de $691,55 \pm 288,92$ N na segunda inserção e de $579,15 \pm 317,75$ N na terceira inserção. No orifício piloto de 6,5mm de diâmetro a média da força máxima de arrancamento na primeira inserção foi de $319,27 \pm 120,64$ N, de $255,49 \pm 93,59$ N na segunda inserção, e de $253,43 \pm 180,01$ na terceira

inserção. Foi observada diferença estatística significativa entre a primeira e a terceira inserção ($p = 0,01$).

A figura 47 ilustra a força de arrancamento nas diferentes freqüências de colocação dos parafusos de 7mm nos corpos de prova de osso bovino.

Tabela 24: Valores da média da força máxima de arrancamento observada nas diferentes freqüências de colocação nos parafusos de 7mm nos corpos de prova de osso bovino

Brocas	Freqüência Colocação	Força de Arrancamento (N)	Desvio Padrão (N)	Amostra
4,0mm	1ª Inserção	981,99*	431,31	10
	2ª Inserção	859,32	333,34	10
	3ª Inserção	767,68**	318,84	10
4,8mm	1ª Inserção	942,91*	251,42	10
	2ª Inserção	691,55	288,92	10
	3ª Inserção	575,48**	291,63	10
5,5mm	1ª Inserção	746,09*	469,54	10
	2ª Inserção	672,49	401,30	10
	3ª Inserção	579,15**	317,75	10
6,5mm	1ª Inserção	319,27*	120,64	10
	2ª Inserção	255,49	93,59	10
	3ª Inserção	253,43**	180,01	10

Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre os valores das inserções.

Força de arrancamento (osso bovino - parafuso 7mm)

Figura 47: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 7mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de osso bovino. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

4.4 Força de arrancamento e diâmetro do orifício piloto

4.4.1 Parafusos de 5mm

Os valores da força máxima de arrancamento dos parafusos de 5mm de diâmetro externo inseridos nos corpos de prova de madeira com orifício piloto de 3,0mm e 3,8mm foram maiores e apresentaram diferença estatística significativa em relação aos valores observados nos corpos de prova com orifício piloto com 4,5mm de diâmetro ($p < 0,001$). Nos corpos de prova de poliuretana, polietileno e osso bovino os valores da força máxima de arrancamento com orifícios piloto de 3,0mm foram maiores em relação aos de 3,8mm ($p < 0,001$), e os valores dos orifícios de 3,8mm foram maiores que os de 4,5mm ($p < 0,001$). Essas diferenças estatísticas foram observadas nos três grupos experimentais, considerando-se a frequência da inserção dos parafusos.

As figuras 48, 49, 50 e 51 ilustram a força de arrancamento dos parafusos de 5mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de madeira, poliuretana, polietileno e osso bovino, respectivamente.

Força de arrancamento (madeira - parafuso 5mm)

Figura 48: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 5mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de madeira. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Força de arrancamento (poliuretana - parafuso 5mm)

Figura 49: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 5mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de poliuretana. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Força de arrancamento (polietileno - parafuso 5mm)

Figura 50: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 5mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de polietileno. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Força de arrancamento (osso bovino - parafuso 5mm)

Figura 51: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 5mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de osso bovino. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

4.4.2 Parafusos de 6mm

Os valores da força máxima de arrancamento dos parafusos de 6mm de diâmetro externo inseridos nos corpos de prova de madeira com orifício piloto de 4,0mm e 4,8mm foram maiores e apresentaram diferença estatística significativa em

relação aos valores observados nos corpos de prova com orifício piloto com 5,5mm de diâmetro ($p < 0,001$). Nos corpos de prova de poliuretana, polietileno e osso bovino os valores da força máxima de arrancamento com orifícios piloto de 4,0mm foram maiores em relação aos de 4,8mm ($p < 0,001$), e os valores dos orifícios de 4,8mm foram maiores que os de 5,5mm ($p < 0,001$). Essas diferenças estatísticas foram observadas nos três grupos experimentais, considerando-se a frequência da inserção dos parafusos.

As figuras 52, 53, 54 e 55 ilustram a força de arrancamento dos parafusos de 6mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de madeira, poliuretana, polietileno e osso bovino, respectivamente.

Força de arrancamento (madeira - parafuso 6mm)

Figura 52: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 6mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de madeira. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Força de arrancamento (poliuretana - parafuso 6mm)

Figura 53: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 6mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de poliuretana. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Força de arrancamento (polietileno - parafuso 6mm)

Figura 54: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 6mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de polietileno. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Força de arrancamento (osso bovino - parafuso 6mm)

Figura 55: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 6mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de osso bovino. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

4.4.3 Parafuso de 7mm

Os valores da força máxima de arrancamento dos parafusos de 7mm de diâmetro externo inseridos nos corpos de prova de madeira com orifício piloto de 6,5mm foram menores e apresentaram diferença estatística significativa em relação aos valores observados nos corpos de prova com orifício piloto de 4,0mm, 4,8mm e 5,5mm ($p < 0,001$). Não foram observadas diferenças estatísticas significativas nas comparações entre os orifícios piloto de 4,0mm, 4,8mm e 5,5mm. Nos corpos de prova de poliuretano os valores da força máxima de arrancamento foram maiores e com diferença estatística entre os diferentes diâmetros: os valores correspondentes ao diâmetro de 4,0mm foram maiores que os do diâmetro de 4,8mm ($p < 0,001$); os correspondentes ao diâmetro de 4,8mm foram maiores que os de 5,5mm ($p < 0,001$); e os correspondentes ao diâmetro de 5,5mm maiores que os de 6,5mm ($p < 0,001$). Nos corpos de prova de polietileno os valores correspondentes aos diâmetros de 4,0mm e 4,8mm não apresentaram diferença estatística significativa, e foram maiores que os correspondentes ao diâmetro de 5,5mm ($p < 0,001$) e 6,5mm

($p < 0,001$). Os valores correspondentes ao diâmetro de 5,5mm foram maiores que os do diâmetro de 6,5mm ($p < 0,001$). Nos corpos de prova de osso bovino os valores da força máxima de arrancamento correspondente aos diâmetros de 4,0mm, 4,8mm e 5,5mm não apresentaram diferença estatística significativa e foram maiores que os valores correspondentes ao diâmetro de 6,5mm ($p < 0,001$). Essas diferenças estatísticas foram observadas nos três grupos experimentais, considerando-se a frequência da inserção dos parafusos.

As figuras 56, 57, 58 e 59 ilustram a força de arrancamento dos parafusos de 5mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de madeira, poliuretana, polietileno e osso bovino, respectivamente.

Força de arrancamento (madeira - parafuso 7mm)

Figura 56: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 7mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de madeira. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Força de arrancamento (poliuretana - parafuso 7mm)

Figura 57: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 7mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de poliuretano. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Força de arrancamento (polietileno - parafuso 7mm)

Figura 58: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 7mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de polietileno. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

Força de arrancamento (osso bovino - parafuso 7mm)

Figura 59: Gráfico ilustrando a força de arrancamento dos parafusos de 7mm, inseridos nos diferentes diâmetros de orifício piloto nos corpos de prova de osso bovino. Os asteriscos indicam a diferença estatística significativa entre as inserções.

DISCUSSÃO

5 Discussão

Os parafusos tem sido amplamente utilizados como componente do sistema de fixação nas cirurgias do aparelho locomotor, envolvendo o sistema apendicular e a coluna vertebral (EDWARDS e YUAN, 1996; LOWERY e HARMS, 1996).

No âmbito da cirurgia da coluna vertebral, a utilização dos parafusos como elemento de ancoragem proporcionou grande avanço nos resultados do tratamento, devido às características biomecânicas proporcionadas por esta modalidade de fixação (KOROVESSIS et al., 2004; LILJENQVIST et al., 2002; RULAND et al., 1991; SUK et al., 1995). Este sistema de fixação vertebral apresenta maior resistência mecânica, maior capacidade de correção, permitindo assim artrodeses mais curtas e maior estabilidade no período pós-operatório (CHANG, 2003; CHEN et al., 2003; CHEN, LIN e CUNNINGHAM et al., 1993; HACKENBERG, LINK e LILJENQVIST, 2002; HILEBRAND et al., 1996; KOSTUIK; MUNTING e VALDEVIT, 1994; LIM et al., 2001; LYM et al., 1997; STANFORD et al., 2004; VOOR et al., 1997).

Os princípios da utilização dos parafusos pediculares nas fixações da coluna vértebra estão bem estabelecidos, mas permanece ainda obscura a sua classificação quanto ao tipo de osso, como observado para os parafusos corticais (osso cortical) e esponjoso (osso esponjoso) utilizados no esqueleto apendicular. Atualmente, existem diversos modelos de rosca de parafusos, no qual o próprio filete de rosca apresenta variação para cada tipo de osso, a fim de proporcionar melhor acomodação da camada óssea na interface (BROWNER et al., 2000).

Os parafusos possuem a capacidade de resistir às forças de cisalhamento, encurvamento e arrancamento (BROWNER et al., 1998; COE, 1990). Essas propriedades mecânicas estão relacionadas a sua geometria e dimensões das suas

partes, e a qualidade do tecido ósseo no qual são implantados. A resistência às forças de cisalhamento está diretamente relacionada ao seu diâmetro interno, que é proporcional ao diâmetro interno da secção transversal do parafuso (LASTRA e BENZEL, 2003; ZDEBLICK et al., 1993). A resistência do implante também depende do perfil da rosca e do ângulo de inserção sobre a alma do parafuso (diâmetro interno), sendo maior quando a inserção da rosca é em ângulo reto e menor quando é curvilínea (LASTRA e BENZEL, 2003; WHITE e PANJABI, 1990; ZDEBLICK et al., 1993).

A resistência do parafuso pedicular ao arrancamento esta relacionada à estabilidade da fixação, a qual pode apresentar relação com o resultado clínico. A fixação do parafuso pedicular na vértebra e a sua resistência mecânica ao arrancamento estão relacionados com a qualidade do tecido ósseo, o preparo do orifício piloto, o modelo da rosca do parafuso e o diâmetro do implante utilizado (ABSHIRE et al., 2001; BARBER et al., 1998; CARMOUCHE et al., 2005; DAFTARI, HORTON e HUTTON, 1994; DEFINO, 2002; DEFINO e FUENTES, 1997; DEFINO e VENDRAME, 2001).

A confecção do orifício piloto deve ser realizada de acordo com o diâmetro do implante e o osso o qual será fixado. O osso cortical é mais rígido e a perfuração do orifício piloto com diâmetro menor que o diâmetro interno do parafuso provoca microfraturas no osso adjacente, comprometendo a qualidade da fixação. Desta forma, nas fixações do osso cortical o orifício piloto é realizado com diâmetro discretamente maior que o diâmetro interno do parafuso, podendo ser utilizado o macho de rosca antes da realização da sua inserção (BENZEL, 2001; HUGHES e JORDAN, 1972; KUHN et al., 1995; MAZZOCA et al., 2003; SCHATZKER, 1993; UHTHOFF, 1973).

O osso esponjoso apresenta menor rigidez em relação ao osso cortical, devido ao seu arranjo trabecular. A inserção do parafuso no osso esponjoso proporciona a compressão do osso adjacente, aumentando a densidade óssea e a resistência do implante ao arrancamento (BENZEL, 2001; ÖKTENOGLU et al., 2001). Devido a essa característica os parafusos do tipo esponjoso apresentam maior altura de rosca, menor diâmetro interno e maior passo de rosca, quando comparado com os parafusos corticais (BENZEL, 2001; MAZZOCA et al., 2003).

A coluna vertebral apresenta característica intermediária, pois é constituída por osso cortical na camada mais superficial e osso esponjoso no seu interior. Desta forma, os parafusos pediculares apresentam características mistas, tanto de parafusos cortical como de esponjosos.

Nesse estudo foram utilizados parafusos do sistema de fixação USS (*Universal Spine System*) de 5mm, 6mm e 7mm de diâmetro externo, que diferem pela proporção entre os diâmetros interno e externo, e pelo passo de rosca. Sendo avaliada a influência da variação do diâmetro do orifício piloto, em relação ao diâmetro interno dos parafusos, e a frequência de colocação desses implantes.

A fixação dos implantes nas vértebras humana, para realização dos ensaios mecânicos, reproduziria as condições cirúrgicas naturais. No entanto, a aquisição de vértebras para realização desse estudo, apresenta inúmeras dificuldades médico-legais relacionadas a sua obtenção, tornando atualmente inviável a sua utilização em nosso meio. Desta forma, utilizamos materiais que apresentassem maior homogeneidade e facilidade de aquisição.

Na literatura encontramos alguns estudos, que utilizaram materiais não biológicos para fixação dos implantes, os quais obtiveram comparativamente

resultados similares aos obtidos com uso de vértebras humanas (DAFTARI, HORTON e HUTTON, 1994; HSU et al., 2005).

Para fixação dos parafusos utilizamos corpos de prova de materiais não biológicos homogêneos com padrão de matriz uniforme e material biológico com características anisotrópicas similares as da coluna vertebral. Para realização da análise mecânica dos implantes em materiais homogêneos utilizamos corpos de prova de madeira, poliuretano e polietileno. Enquanto, que osso bovino permitiu a análise do comportamento dos implantes em um material anisotrópico.

Na confecção dos corpos de prova padronizamos o diâmetro e a altura do modelo, com intuito de facilitar a realização dos testes mecânicos e evitar futuros danos aos parafusos ou aos corpos de prova. Foram utilizadas diferentes alturas de acordo com a resistência de cada material.

O torque de inserção do parafuso pedicular é definido como o momento angular de força requerido para que o parafuso avance a rosca no interior do material de fixação (DAFTARI, HORTON e HUTTON, 1994). Assim sendo, o objetivo da avaliação do torque de inserção neste estudo, foi monitorar o comportamento do torque de inserção durante as diferentes frequências de colocação.

Na literatura encontramos poucos estudos que analisam o comportamento da força de arrancamento e de torque de inserção em diferentes frequências colocação do implante. Alguns estudos verificaram a ausência de influência da frequência da colocação do implante nestes parâmetros (FOLEY, FOST e TUCKER, 1990). No entanto, o comportamento do torque de inserção e da força de arrancamento nas diferentes frequências de colocação, permanece ainda sem resposta.

Na literatura encontramos diversos trabalhos analisando as relações existentes entre o torque de inserção do parafuso e a interfase osso-implante, a qual

apresenta relação direta com a estabilização inicial do implante (ANSELL e SCALES, 1968; HUGHES e JORDAN, 1972; LU et al., 2000; MYES, et al., 1996; NUNAMAKER e PERREN, 1996; OKUYAMA et al., 2000; ONO et al., 2001; SHIMAMOTO et al., 2001; SWIONTKOWSKI, HARRINGTON e VANPATTEN, 1987; VANGSNESS JUNIOR, CARTER e FRANKEL, 1981; ZHU et al., 2000). Esta correlação foi observada tanto em modos experimentais *in vitro*, como em vértebras bovina (vitelo) e humana (ZDEBLICK et al. 1993).

Diversos estudos observaram a existência de correlação entre o preparo do orifício piloto, torque de inserção e a força de arrancamento do parafuso pedicular (DAFTARI, HORTON e HUTTON, 1994; ESENKAYA et al., 2006; WITTENBERG et al., 1993). No entanto, a existência dessa correlação ainda permanece obscura, pois alguns estudos não verificaram sua existência (ZDEBLICK et al. 1993).

Os ensaios mecânicos realizados neste estudo são do tipo estáticos, tendo a finalidade de avaliar a resistência mecânica ao arrancamento dos implantes por meio da aplicação de força axial ao longo do seu eixo. As condições de aplicação de força, observadas durante esses ensaios, diferem das condições de aplicação de cargas fisiológicas cíclicas sobre em uma fixação da coluna vertebral. Apesar da dificuldade de reprodução das condições fisiológicas de aplicação de carga, esses ensaios mecânicos permitem avaliar os parâmetros estudados, por meio da análise da força máxima de arrancamento dos parafusos.

O ensaio de arrancamento do parafuso por meio de carga axial é um método amplamente aceito na literatura como forma objetiva de avaliação da resistência mecânica (KWOK et al., 1996; PFEIFFER et al., 1996; VANGSNESS JUNIOR, CARTER e FRANKEL, 1981). Durante a realização dos ensaios mecânicos estáticos o gráfico é traçado, por meio de leituras sucessivas de deformação e de carga

crescente, tendo como abscissas as deformações, e como ordenadas à força (SOUZA, 1972). Assim podemos observar os resultados no gráfico pela expressão da relação entre força e deformação. A força máxima obtida durante os ensaios mecânicos é conferida pela máxima resistência do parafuso ao arrancamento e a deflexão é conferida pelo deslizamento do parafuso no corpo de prova. Os ensaios mecânicos podem não reproduzir cargas fisiológicas, mas servem para comparar diferentes parafusos, assim como os tipos de implantação.

Nas análises do torque de inserção e da força de arrancamento nos parafusos de 5mm, 6mm e 7mm de diâmetro externo, inseridos nos corpos de prova de madeira, poliuretano, polietileno e osso bovino, observamos que estes foram influenciados pela frequência de colocação dos implantes. Pois a primeira inserção apresentou valores de torque e força de arrancamento significativamente maiores que os observado na segunda e na terceira inserção, nos diferentes diâmetros de orifício piloto. Com exceção dos valores de torque dos parafusos de 6mm inserido nos corpos de prova de poliuretano com orifício piloto de 5,5mm.

A redução do torque de inserção e da força de arrancamento nas diferentes frequências de colocação do parafuso se deve provavelmente pela danificação da estrutura do material ao longo do orifício piloto, durante a realização das inserções. Pois durante a inserção do implante ocorre à compressão da estrutura adjacente, levando assim a alteração das características do material (BENZEL, 2001; ÖKTENOGLU et al., 2001).

Os resultados da frequência de colocação dos implantes auxiliaram os cirurgiões durante o procedimento de inserção dos parafusos, pois durante a realização da técnica de fixação é comum à realização de várias inserções para melhor posicionamento dos implantes. Na literatura não foram encontrados trabalhos

que analisassem a influência da frequência de colocação dos implantes do sistema de fixação vertebral. Foley, Frost e Tucker (1990) analisaram a frequência de colocação de implantes odontológicos, que não utilizam os mesmos princípios de fixação, e não observaram diferença significativa das diferentes frequências de colocações.

O diâmetro do orifício piloto em relação ao diâmetro interno do parafuso apresentou influência no torque de inserção e na força máxima de arrancamento dos implantes, nos diferentes corpos de prova. Foi observado maior torque de inserção e força de arrancamento nos corpos de prova com orifício piloto menor que o diâmetro interno do parafuso. Nos corpos de prova com diâmetro do orifício piloto maior que o diâmetro interno do implante foi observado menor torque de inserção e força de arrancamento.

O aumento do orifício piloto provocou a redução do torque de inserção e da resistência ao arrancamento dos implantes, esse resultado mostra a relação direta entre a redução dos parâmetros avaliados e o aumento do diâmetro do orifício piloto em relação ao diâmetro interno dos parafusos. À medida que maior quantidade de material é removido durante a perfuração, ocorre a compactação de menor quantidade de osso ao redor do parafuso, enfraquecendo a interface entre o implante e o osso circundante, e conseqüente redução do torque de inserção e da resistência ao arrancamento dos implantes. Os resultados obtidos contribuíram com informações até então não bem esclarecidas. Na literatura encontramos trabalhos que não observaram influência do orifício piloto no torque de inserção e na força (GEORGE et al., 1991; WITTENGER et al., 1993; ZDEBLICK et al., 1993), no entanto, outros estudos obtiveram resultados semelhantes aos nossos (CARMOUCHE et al., 2005; DAFTARI, HORTON e HUTTON, 1994; KUKLO e

LEHMAN JUNIOR, 2003; MORAN et al., 1989; ÖKTENOGLU et al., 2001). Uma ressalva a ser colocada quando se comparam resultados diz respeito à metodologia aplicada que certamente não foi a mesma em todos os trabalhos.

Do ponto de vista do estudo *in vitro* a frequência de colocação do parafuso reduziu os valores médios dos parâmetros estudados, portanto na prática clínica a realização de menor número de inserções para fixação do implante pode ser mais vantajoso para o sucesso do procedimento de fixação da coluna vertebral. Sendo que os orifícios piloto com diâmetro menor e igual ao diâmetro interno dos parafusos seriam mais indicados para realização do procedimento de fixação dos implantes.

CONCLUSÕES

6 CONCLUSÕES

A frequência de colocação dos implantes e o diâmetro do orifício piloto em relação ao diâmetro interno do parafuso influenciaram no torque de inserção e na resistência ao arrancamento do parafuso.

O aumento da frequência de colocação dos implantes reduz o torque de inserção e a força de arrancamento, nos diferentes diâmetros de orifício piloto.

A perfuração do orifício piloto com diâmetro menor que o diâmetro interno aumentou o torque de inserção e a força de arrancamento, e a perfuração do orifício piloto com diâmetro maior que o diâmetro interno do parafuso diminuiu o torque de inserção e a força ao arrancamento do parafuso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHÃO, F.A.; SHIMANO, C.; DEFINO, H. L. A. *Estudo da Influência da Técnica de Preparação dos Pedículos Vertebrais na Resistência ao Arrancamento dos Implantes*. **Coluna**, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 111-7, out. 2003.

ABSHIRE, B. B.; McLAIN, R. F.; VALDEVIT, A.; KAMBIC, H. E. Characteristics of pullout failure on conical and cylindrical pedicle screws after full insertion and back-out. **Spine Journal**, New York, v. 1, n. 6, p. 408-14, nov. 2001.

AEBI, M.; ETTER, C.; KEHL, T.; THALGOT, J. Stabilization of the lower thoracic and lumbar spine with the internal spinal skeletal fixation system. Indications, techniques and first results of treatment. **Spine**, Philadelphia, V. 12, n. 6, p. 544-51, jul. 1987.

ANSELL, R. H., SCALES, J. T. A study of some factors which affect the strength of screws and their insertion and holding power in bone. **Journal Biomechanics**, v.1, n. 4, p. 279-302, dec. 1968.

BARBER, J. W.; BODEN, S. D.; GANEY, T.; HUTTON, W. C. Biomechanical study of lumbar pedicle screws: does convergence affect axial pullout strength? **Journal Spinal Disorders**, New York, v. 11, n. 3, p. 215-20, jun. 1998.

BRANTLEY, A. G., MAYFIELD, J. K., KOENEMAN, J. B. The effects of pedicle screw fit. An in vitro study. **Spine**, Philadelphia, v.1, n. 19, p. 1752-58, aug. 1994.

BROWNER, B. D. **Osteossíntese intramedular: princípios básicos e aplicação prática**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Revinter, 2000.

BROWNER, B. D., JUPITER J. B., LEVINE A. M., TRAFTON P. G. **Skeletal trauma**. 2ª ed, Philadelphia: Saunders, 1998.

CARMOUCHE, J. J.; MOLINARI, R. W.; GERLINGER, T.; DEVINE, J.; PATIENCE, T. Effects of pilot hole preparation technique on pedicle screw fixation in different regions of the osteoporotic thoracic and lumbar spine. **Journal Neurosurgery**, Chicago, v. 3, n. 5, p. 364-70, nov. 2005.

CHEN, S. I.; LIN, R. M.; CHANG, C. H. Biomechanical investigation of pedicle screw-vertebrae complex: a finite element approach using bonded and contact interface conditions. **Medical Engineering & Physics**, Oxford, v. 25, n. 4, p. 275-82, may 2003.

CHEN, P. Q.; LIN, S. J.; WU, S. S.; SO, H. Mechanical performance of the new posterior spinal implant: effect of materials, connecting plate, and pedicle screw design. **Spine**, Philadelphia, v. 28, n. 9, p. 881-7, may 2003.

COE, J. D. Influence of bone material density on the fixation of thoracolumbar implants: a comparative study of transpedicular screws, laminar hooks, and spinous process wires. **Spine**, Philadelphia, v. 15, n. 9, p. 902-7, 1990.

CUNNINGHAM, B. W.; SEFTER, J. C.; SHONE, Y.; McAFEE, P. C. Static and cyclical biomechanical analysis of pedicle screw spinal constructs. **Spine**, Philadelphia, v. 18, n. 12, p. 1677-88, sep. 1993.

DAFTARI, T. K.; HORTON, W. C.; HUTTON, W. C. Correlation between screw hole preparation, torque of insertion, and pullout strength for spinal screws. **Journal Spinal Disorders**, New York, v.7, n.2, p. 139-45, apr. 1994.

DEFINO, H. L. A. Ideas and technical innovation: a guide for the aligned perforation of vertebral pedicles. **European Spine Journal**, Heidelberg, v. 11, n. 2, p. 172-5, jan. 2002.

DEFINO, H. L. A.; FUENTES, A. E. R. Treatment of fractures of the thoracolumbar spine by combined anteroposterior fixation using the Harms. **European Spine Journal**, Heidelberg, v. 7, n. 3, p. 187-94, jun. 1997.

DEFINO, H. L. A.; VENDRAME, J. R. B. Role of cortical and cancellous bone of the vertebral pedicle in implant fixation. **European Spine Journal**, Heidelberg, v. 10, n. 7, p. 325-33, feb. 2001.

EDWARDS, W. T.; YUAN, H. A. General considerations, evaluation and testing. In: BRIDWELL, K. H.; DeWALD, R. L.; HAMMERGERG, K. W.; LENKEL, L. G.; LUBICKY, J. P.; MARDJETKO, S. M.; NEUWIRTH, M. L.; VOLLMER, D. G. **Spinal Surgery**, 2ª ed., Philadelphia: lippincott-Raven, v. 1, 1996, p. 141-54.

EGGLI, S. Biomechanical testing of three newly developed transpedicular multisegmental fixation system. **European Spine Journal**, Heidelberg, v. 1, n. 2, p. 109-16, sep. 1992.

ESENKAYA, R.; DENIZHAN, Y.; KAYGUSUZ, M. A.; YETMEZ, M. KELESTEMUR, M. H. Comparison of the pull-out strength of three different screws in pedicular screw revisions: a biomechanical study. **Acta Orthopédica et Traumatologica Turcica**, Istanbul, v. 40, n. 1, p. 72-81, jan. 2006.

FOLEY, W. L.; FROST, D. E.; TUCKER, M. R. The effect of repetitive screw hole use on the retentive strength of pretapped and self-tapped screws. **American Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, Philadelphia, v. 48, n. 3, p. 264-7, mar. 1990.

GEORG, D. C.; KRAG, M. H.; JOHNSON, C. C.; VAN HAL, M. E.; HAUGH, L. D.; GROBLER, L. J. Hole preparation technique for transpedicular screws. Effects on pull-out-strength from human cadaveric vertebrae. **Spine**, Philadelphia, v. 16, n. 2, p.181-4, feb. 1991.

HACKENBERG, L.; LINK, T.; LILJENQVIST, U. Axial and tangential fixation strength of pedicle screw versus hooks in the thoracic spine in relation to bone mineral density. **Spine**, Philadelphia, v. 27, n. 9, p. 937-42, may. 2002.

HAHER, T. R.; FELMY, W.; BARUCH, H.; DEVLIN, V.; WELIN, D.; O'BRIEN, M. AHMAD, J.; VALENZA, J.; PARISH, S. The contribution of the three columns of the spine to rotational stability: A biomechanical model. **Spine**, Philadelphia, v.14, n. 7, p. 663-9, jul. 1989.

HIRANO, T.; HASEGAWA, K.; TAKAHASHI, H. E.; UCHIYAMA, S.; HARA, T.; WASHIO, T.; SUGIURA, T.; YOKAICHIYA, M.; IKED, M. Structural characteristics of the pedicle and its role in screw stability. **Spine**, Philadelphia, v. 22, n. 1, p. 2504-9, nov. 1997.

HSU, C. C.; CHAO, C. K.; WANG, J. L.; HOU, S. M.; TSAI, Y. T.; LIN, J. Increase of pullout strength of spinal pedicle screws with conical core: biomechanical tests and finite element analyses. **Journal Orthopaedic Research**, New York, v. 23, n. 4, p. 788-94, jul. 2005.

HUGHES A. N., JORDAN, B. A. The mechanical properties of surgical bone screws and some aspects of insertions practice. **Injury**, Toronto, v. 4, n. 1, p. 25-38, aug. 1972.

KORANYI, E., BOWMAN, C. E., KNECHT, C. D. Holding power of orthopedic screw in bone. **Clinical Orthopaedic and Related Research**, Philadelphia, n. 72, p. 283-6, sep. 1970.

KOROVESSIS, P.; BAIKOUSIS, A.; KOUREAS, G.; ZACHARATOS, S. Correlative analysis of the results of surgical treatment of thoracolumbar injuries with long Texas Scottish Rite Hospital Construct: is the use of pedicle screw *versus* hooks advantageous in the lumbar spine? **Journal Spinal Disorders Techniques**, Hagrestown, v. 17, n. 3, p. 195-205, jun. 2004.

KOSTUIK, J. P.; MUNTING, E.; VALDEVIT, A. Biomechanical analysis of screw load sharing in pedicle fixations of lumbar spine. **Journal Spinal Disorders**, New York, v. 7, n. 5, p. 394-401, oct. 1994.

KRAG, M. H. Biomechanics of thoracolumbar spinal fixation. A review. **Spine**, Philadelphia, v. 16 (suppl), p. S84-99, 1991

KUHN, A., Mc Iff, J., BAUMGART, F. W., RAHN, B. A. Bone deformation by thread-cutting and thread-forming cortex screws. **Injury**, v. 26 Supplement 1, p.12-20, 1995.

KUKLO, T. R.; LEHMAN, R. A. Effect of various tapping diameters on insertion of thoracic pedicle screw: a biomechanical analysis. **Spine**, Philadelphia, v. 28, n. 18, p. 2066-71, sep. 2003.

KWORK, A. W. L.; FINKELSTEIN, J. A.; WOODSIDE, T.; HEARN, T. C.; HU, R. W. Insertion torque and pullout strengths of conical and cylindrical pedicle screw in cadaveric bone. **Spine**, Philadelphia, v. 21, n. 21, p. 2429-34, nov. 1996.

LASTRA, J., BENZEL, C. E. Biomechanics of internal fixation. In: VACCARO, A. R.; BETZ, R. R.; ZEIDMAN, S. M. editors. **Principles and practice of spine surgery**. 1st.ed. Mosby: St. Louis. 2003. p.43-65.

LAW, M., TENCER, A. F., ANDERSON, P. A. Caudo-cephalad loading of pedicle screw: mechanisms of loosening and methods of augmentation. **Spine**, Philadelphia, v.18. n. 16, p.2438-43, Dec. 1993.

LILJENQVIST, U.; LEPSIEN, U.; HAKENBERG, L.; NIEMEYER, T.; HALM, H. Comparative analysis of pedicle screw and hook instrumentation in posterior correction and fusion of idiopathic thoracic scoliosis. **European Spine Journal**, Brussels, v. 11, n. 4, p. 336-43, may. 2002.

LIM, M. R.; GIRARD, F. P.; YOON, S. C.; HUANG, R. C.; CAMMISA JR, F. P. Accuracy of computerized frameless stereotactic image-guided pedicle screw placement into previously fused lumbar spine. **Spine**, Philadelphia, v. 30, n. 15, p. 1793-8, aug. 2005.

LINDSEY, R. W.; DICK, W.; NUNCHUCK, S.; ZACH, G. Residual intersegmental spinal mobility following limited pedicle fixation of thoracolumbar spine fractures with the fixation interne. **Spine**, Philadelphia, v. 15, n. 18, p. 474-8, mar. 1993.

LOWERY, G.; HARMS, J. Principles of load sharing. In: BRIDWELL, K. H., DeWALD, R. L.; HAMMERBERG, K. W.; LENKE, L. G.; LUBICKY, J. P.; MARDJETKO, S. M.; NEUWIRTH, M. L.; VOLLMER, D. G. **Spinal Surgery**, 2^a ed., Philadelphia: Lippincott-Raven, v. 1, 1996, p. 155-66.

LU, W. W.; ZHU, Q.; HOLMES, A. D.; LUK, K. D.; ZHONG, S.; LEONQ, J. C. Loosening of sacral screw fixation under in vitro fatigue loading. **Journal Orthopaedic Research**, New York, v.18, n.5, p. 808-14, sep. 2000.

LYNN, G.; MUKHERJEE, D. P.; KRUSE, R. N.; SADASIVAN, K. K.; ALBRIGHT, J. A. Mechanical stability of thoracolumbar pedicle screw fixation: the effect of crosslink. **Spine**, Philadelphia, v. 22, n. 14, p. 1568-73, jul. 1997.

MAZZOCA, A. D.; CAPUTO, A. E.; BOWNER, B. D.; MAST, J. W.; MENDES, M. W. Principles of internal fixation. In: BROWNER, B. D.; LEVINE, A. M.; JUPITER, J. B.; TRAFTON, P. G. **Skeletal Trauma**, 3^a ed., Philadelphia: Saunders, 2003, p. 195-249.

MORAN, J. M.; BERG, W. S.; BERRY, J. L.; GEIGER, J. M.; STEFFEE, A. D. Transpedicular screw fixation. **Journal Orthopaedic Research**, New York, v. 7, n. 1, p. 107-17, jan. 1989.

MYERS, B. S.; BELMONT JUNIOR, P. J.; RICHARDSON, W. J.; YU, J. R.; HARPER, K. D.; NIGHTINGALE, R. W. The role of imaging and in situ biomechanical testing in assessing pedicle screw pull-out strength. **Spine**, Philadelphia, v. 21, n.17, p. 1962-8, sep. 1996.

NUNAMAKER, D. M., PERREN, S. M. Force measurements in screw fixation. **Journal Biomechanics**, New York, v. 9, n. 11, p. 669-75, nov.1967.

ÖKTENOGLU, B. T., FERRARA, L. A., ANDALKAR, N., ÖZER, A. F., SARIOGLU, A. C., BENZEL, E. Effects of hole preparation on screw pullout resistance and insertional torque: a biomechanical study. **Journal of Neurosurgery** (Spine 1), Virginia, v. 94, n. 1, p. 91-6, jan. 2001.

OKUYAMA, K.; ABE, E; SUZUKI, T.; TAMURA, Y. CHIBA, M. SATO, K. Can insertional torque predict screw loosening and related failures? An in vivo study of pedicle screw fixation augmenting posterior lumbar interbody fusion. **Spine**, Philadelphia, v. 25, n.7, p. 858-64, abr. 2000.

ONO, A.; BROWN, M. D., LATTA, L. L.; MILNE, E. L.; HOLMES, D. C. Triangulated pedicle screw construct technique and pull-out strength of conical and cylindrical screws. **Journal Spine Disorders**, v. 14, n. 4, p. 323-329, 2001.

PFEIFFER, M.; GILBERTSON, L. G.; GOEL, V. K.; GRISS, P.; KEKKER, J. C.; RYKEN, T. C.; HOFFMAN, H. E. Effect of specimen fixation method on pullout tests of pedicle screw. **Spine**, Philadelphia, v. 21, n. 9, p. 1037-44, may. 1996.

RENNER, S. M.; LIM, TAE-HONG; KIM, WHOAN-JEANG; KATOLIK, L.; AN, H. S.; ANDERSSON, G. B. J. Augmentation of pedicle screw fixation strength using an injectable calcium phosphate cement as a function of injection timing an method. **Spine**, Philadelphia, v. 29, n. 11 p. E212-16, jun. 2004.

RULAND, C. M.; McAFEER, P. C.; WARDEN, K. E.; CUNNINGHAM, B. W. Triangulation of pedicle instrumentation: a biomechanical analysis. **Spine**, Philadelphia, v. 16, n. 6S, p. S270-6, jun. 1991.

SCHATZKER, J. Parafusos e placas e sua aplicação. In: MÜLLER, M. E.; ALLGÖWER, M.; SCHNEIDER, R.; WILLENEGGER, H. **Manual de osteossíntese: técnicas recomendadas pelos grupos AO-ASIF**. 3ª ed., São Paulo: Manole, 1993, p. 179-231.

SCHULTZ, R. S., BOGER, J. W., DUNN, H. K. Strength of stainless steel surgical wire in various fixation modes. **Clinical Orthopaedic and Related Research**, n. 198, p. 304-7, sep. 1985.

SHIMAMOTO, N.; KOTANI, Y.; SHONO, Y.; KODOYA, K.; ABUMI, K.; KANEDA, K.; MINAMI, A. Biomechanical evaluation of anterior spinal instrumentation systems for scoliosis: in vitro fatigue simulation. **Spine**, Philadelphia, v. 26, n. 24, p. 2701-8, dec. 2001.

SILVA, V. C., BARBOSA, S. V., CAMPOS, B. Histological analysis of perimplantar bone after the prepare but the use of burs or compacted by bone expanders. **Revista Brasileira de Implantodontia**, v. 11, n. 42, p. 113-8, 2004.

SOSHI, S., SHIBA R., KONDO, H. An experimental study on transpedicular screw fixation in relation to osteoporosis of the lumbar spine. **Spine**, Philadelphia, v.16, n. 11, p. 1335-41, nov. 1991.

SOUZA, S. A. Ensaio de tração. In: SOUZA, S. A. **Ensaaios mecânicos de materiais metálicos**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1974, p. 3-16.

STANFORD, R. E; LOEFLER, A. H.; STANFORD, P. M.; WALSH, W. R. Multiaxial pedicle screw designs: static and mechanical testing. **Spine**, Philadelphia, v. 29, n.4, p. 367-75, feb. 2004.

SUK, S.; KIM, W. J.; LEE, S. M.; KIM, J. H.; CHUNG, Y. J.; PARK, Y. B. Segmental pedicle screw fixation in the treatment of thoracic idiopathic scoliosis. **Spine**, Philadelphia, v. 26, n. 18, p. 2949-57, sep. 2001.

SWIONTKOWSKI, M. F.; HARRINGTON, R. M.; KELLER, T. S.; VANPATTEN, P.K. Torsion and bending analysis of internal fixation techniques for femoral neck fractures: the role of implant design and bone density. **Journal Orthopaedic Research**, New York, v. 5, n. 3, p. 433-44, 1987.

UHTHOFF, H. K. Mechanical factors influencing the holding power of screws in compact bone. **Journal Bone Joint Surgery – British**, v. 55B, n.3, p. 633-9, aug. 1973.

VACCARO, A. R.; RIZZOLO, S. J.; ALLARDYCE, T. J.; RAMSEY, M.; SALVO, J.; BALDERSTON, R. A.; COTLER, J. M. Placement of pedicle screws in the thoracic spine. Part 1: Morphometric analysis of the thoracic vertebrae. **Journal Bone Joint Surgery – American**, Boston, v. 77-A, n. 8, p. 1200-6, 1995.

VANGSNESS JUNIOR, C. T.; CARTER, D. R.; FRANKEL, V. H. In vitro evaluation of the loosening characteristics of self-tapped and non-self-tapped cortical bone screws. **Clinical Orthopaedic and Related Research**, Philadelphia, n. 157, p. 279-86, jun. 1981.

VOOR, M. J.; ROBERTS, C. S.; ROSE, S. M.; GLASSMAN, S. D. Biomechanics of in situ rod contouring of short-segment pedicle screw instrumentation in the thoracolumbar spine. **Journal Spine Disorders**, New York, v. 10, n. 2, p. 106-16, apr. 1997.

WEINSTEIN, J. N.; SPRATT, K. F.; SPENGLER, D. Spinal pedicle fixation: reliability and validity of roentgenogram-based assessment and surgical factors on successful screw placement. **Spine**, Philadelphia, v. 13, n. 9, p. 1012-18, sep. 1988.

WHITE, A. A., PANJABI M. M. **Clinical biomechanics of the spine**. 2nd.ed. JB Lippincott: Philadelphia. 1990.

WITTENBERG, R. H.; LEE, K.; SHEA, M.; WHITE III, A. A. ; Hayes, W. C. Effect of screw diameter, insertion technique, and bone cement augmentation of pedicle screw fixation strength. **Clinical Orthopaedic and Related Research**, Philadelphia, n. 296, p. 278-87, nov. 1993.

ZDEBLICK, T. A., KUNZ, D. N., COOKE, M. E.; McCABE, R. Pedicle screw pull-out strength. Correlation with insertional torque. **Spine**, Philadelphia, v.18, n. 12, p. 1673-6, mar. 1993.

ZHU, Q.; LU, W. W.; HOLMES, A. D.; ANDREW, D.; ZHENG, Y.; ZHONG, S.; LEONG, J. C. Y. The effects of cyclic loading on pull-out strength of sacral screw fixation: An in vitro biomechanical study. **Spine**, Philadelphia, v. 25, n. 9, p. 1065-1069, may. 2000.

ZINDRICK, M. R., WILTSE, L. L., WIDELL, E. H.; THOMAS, J. C.; HOLLAND, W. R.; FIELD, T.; SPENCER, C. W. A biomechanical study of intrapedicular screw fixation in the lumbar spine. **Clinical Orthopaedic and Related Research**, Philadelphia, n. 203, p. 99-112, feb. 1986.