

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**DESENVOLVIMENTO, CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE POR
ELEMENTOS FINITOS DE NOVO MODELO DE PLACA
PARA OSTEOSSÍNTESE ILÍACA EM CÃES**

Tryssia Scalon Magalhães Moi

Médica Veterinária

2020

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**DESENVOLVIMENTO, CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE POR
ELEMENTOS FINITOS DE NOVO MODELO DE PLACA
PARA OSTEOSÍNTESE ILÍACA EM CÃES**

Discente: Tryssia Scalon Magalhães Moi

Orientador: Prof. Associado Bruno Watanabe Minto

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Cirurgia Veterinária.

2020

M712d

Moi, Tryssia Scalon Magalhães

Desenvolvimento, caracterização e análise por elementos finitos de novo modelo de placa para osteossíntese ilíaca em cães / Tryssia Scalon Magalhães Moi. -- Jaboticabal, 2020
40 p. : fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientadora: Bruno Watanabe Minto

1. Pelve. 2. Fraturas. 3. Placas ósseas (Ortopedia). 4. Fraturas em animais. I. Título

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp.

Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DESENVOLVIMENTO, CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE POR ELEMENTOS FINITOS DE NOVO MODELO DE PLACA PARA OSTEOSSÍNTESE ILÍACA EM CÃES

AUTORA: TRYSSIA SCALON MAGALHÃES MOI

ORIENTADOR: BRUNO WATANABE MINTO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em CIRURGIA VETERINÁRIA, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. BRUNO WATANABE MINTO
Departamento de Clínica e Cirurgia Veterinária / FCAV - UNESP - Jaboticabal

P/ Prof. Dra. KELLY CRISTIANE ITO YAMAUCHI
Universidade de Cuiabá-UNIC / Cuiabá/MT

P/ Prof. Dr. PAULO VINICIUS TERTULIANO MARINHO
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais-Campus Muzambinho / Muzambinho/MG

Jaboticabal, 20 de julho de 2020

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

Tryssia Scalon Magalhães Moi, nascida no município de Cuiabá, estado do Mato Grosso, aos onze dias do mês de setembro de 1993. Ingressou no curso de Medicina Veterinária na Universidade de Cuiabá (UNIC) em 2010. Nessa instituição, realizou estágios na área de Clínica Cirúrgica de Pequenos Animais. Participou do Projeto Cães Voluntários e da Comissão Organizadora do IV CICLOVET e II Encontro de Pesquisa e Mostra Científica da Biociência Animal de Pequenos Animais. Obteve o título de Médica Veterinária em 2015. Entre os anos de 2016 e 2018, participou do Programa de Residência Integrada em Medicina Veterinária como residente em Clínica Cirúrgica e Anestesiologia de Animais de Companhia e Silvestres do Hospital Veterinário da Universidade de Cuiabá (UNIC). Atuou como professora substituta na instituição Universidade de Cuiabá (UNIC) entre agosto a outubro de 2018. Atualmente é mestranda do Programa de Pós-Graduação em Cirurgia Veterinária da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Câmpus de Jaboticabal, ao qual ingressou em 2019, sob orientação do Prof. Dr. Bruno Watanabe Minto.

EPÍGRAFE

“O insucesso é apenas uma oportunidade para recomeçar com mais inteligência”.

Henry Ford

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho àqueles a quem mais amo, meus pais Mauro e Nilce.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus que me deu força, saúde e paz para conduzir este trabalho de maneira mais prazerosa possível.

Agradeço ao meu orientador Prof. Bruno Watanabe Minto, a oportunidade e confiança que a mim depositaste.

Ao laboratório de Ortopedia e Neurocirurgia de Pequenos Animais da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária da Unesp de Jaboticabal, o qual contribuiu para meu crescimento pessoal e profissional.

Ao Dayvid e Caio por permitirem e aceitarem que este projeto fosse desenvolvido por mim.

Ao professor Luís Gustavo Gosuen Gonçalves Dias e Professora Paola Castro Moraes, pela participação e ajuda neste trabalho.

A professora Kelly Yamauchi que me acompanhou da graduação a residência e me incentivou a trilhar e buscar o melhor caminho em busca de novos conhecimentos e experiência sempre.

À Universidade de São Paulo (Câmpus de Ribeirão Preto) por ceder o Laboratório de Bioengenharia para realização dos testes deste estudo.

A Ana Paula Macedo por ter cedido tempo para me ensinar a desenvolver o projeto com muita paciência.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento CV0180025 .

Aos meus pais que sempre me ajudaram e me apoiaram em toda minha jornada e são os responsáveis por tudo que sou.

Aos meus amigos e familiares de Cuiabá por me incentivarem em todas as

escolhas que realizei e me apoiaram em todos os momentos.

As novas amizades que pude construir neste tempo de mestrado com pessoas que me ajudaram a suprir a falta e saudade de casa, e se tornaram uma segunda família.

SUMÁRIO

CERTIFICADO DA COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS.....	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
LISTA DE ABREVIATURAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
CAPÍTULO 1 – Considerações gerais.....	1
Introdução e justificativa.....	1
Objetivos	3
Objetivo geral.....	3
Objetivo específicos.....	3
Hipótese	4
Referências	4
CAPÍTULO 2 – Estudo preliminar de uma nova placa para fraturas ilíacas em	
cães	6
Resumo.....	6
Introdução	7
Material e Métodos.....	8
Design da placa dedicada ao ílio	8
Análise em elementos finitos da placa dedicada ao ílio	11
Resultados	13
Distribuição do estresse no implante	13
Distribuição do estresse nos parafusos	14
Distribuição do estresse no osso cortical.....	14
Discussão	15

Conclusão	19
Abreviaturas	19
Aprovação ética e consentimento para participar	19
Consentimento para publicação.....	19
Disponibilidade de dados e materiais.....	19
Interesses concorrentes	19
Financiamento.....	19
Autores contribuintes	19
Agradecimentos	19
Referências	19
CAPÍTULO 3– Considerações finais	23
Limitações do estudo	23
Perspectivas	23
ANEXO 1 – Normas do periódico “BMC Veterinary Research”.....	24



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Jaboticabal



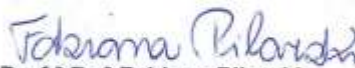
CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que o projeto de pesquisa intitulado **"Desenvolvimento, caracterização e análise por elementos finitos de novo modelo de placa para osteossíntese ilíaca em cães"**, protocolo nº 07283/19, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Bruno Watanabe Minto, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao Filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008, no decreto 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS, UNESP - CÂMPUS DE JABOTICABAL-SP, em reunião ordinária de 13 de junho de 2019.

Vigência do Projeto	17/06/2019 a 01/10/2020
Espécie / Linhagem	<i>Canis familiaris</i>
Nº de animais	1 animal
Peso / Idade	30 kg / Porte médio
Sexo	Não se aplica
Origem	Será obtido uma pelve canina para confecção do molde de um modelo de placa.

Jaboticabal, 13 de junho de 2019.


Prof.ª Dr.ª Fabiana Pilarski
Coordenadora – CEUA

Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias
Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n CEP 14884-900 - Jaboticabal/ SP - Brasil
tel 16 3209 7100 - www.fcav.unesp.br

DESENVOLVIMENTO, CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE POR ELEMENTOS FINITOS DE NOVO MODELO DE PLACA PARA OSTEOSSÍNTESE ILÍACA EM CÃES

RESUMO - O objetivo do presente estudo foi desenvolver e caracterizar uma placa óssea bloqueada específica ao uso em fraturas ilíacas de cães, em aço inoxidável, avaliando o comportamento através das tensões de *von mises*, máxima e mínima e rigidez sob carga de montagem por meio de análises em elementos finitos. Inicialmente, foram realizadas mensurações de cinco pelves cadavéricas como estudo prévio para determinação das dimensões e formato do novo implante. Posteriormente, utilizou-se uma pelve de um cão sem raça definida, jovem e de 25 kg, para confecção do molde inicial. Com auxílio de polimetilmetacrilato (PMMA) criou-se molde inicial sobre a asa do ílio até a região cranial ao acetábulo. A partir deste molde, o desenho da placa foi realizado por meio do “computer aided design” (CAD). A placa ilíaca apresenta características anatômicas próprias em formato baseado no contorno da superfície da asa e corpo ilíaco. Possui formato de elipse na porção cranial, com nove orifícios, e triangular na região caudal com outros três orifícios, todos bloqueados e, correspondente ao sistema 3.5 mm. Possui angulações dos parafusos pré-estabelecidas, sendo os craniais divergentes e, os caudais levemente direcionados para caudal. A partir da tomografia computadorizada da pelve que foi utilizada como molde, realizou-se a reconstrução tridimensional digital (3D) da pelve e aperfeiçoou a placa ilíaca em CAD. As imagens em CAD foram exportadas para o “Rhino” 6 e posteriormente para o “SimLab” 2018 para confecção do modelo em elementos finitos de trabalho com elementos tridimensionais com funções de formato linear. Foi aplicado carga de 300 Newtons, de forma distribuída na área de contato da articulação coxofemoral e restringiu a movimentação da coluna de modo a simular o comportamento real da articulação para ambos materiais de placa. A solução do modelo foi feita no programa “OptiStruct” 2017. Os resultados foram obtidos por meio de programa “HyperView” 2017 e os achados foram vistos em escala de cores, em que cada tonalidade, corresponderia ao acúmulo de tensão *von mises*, máxima e mínima nas estruturas. A placa ilíaca apresentou formato e angulações adequados. Dos parafusos, os mais exigidos foram os inseridos na porção ventral do segmento cranial, a placa apresentou tensão bem distribuída.

Palavras-chave: fraturas, implante, pelve, placa bloqueada

DEVELOPMENT, CHARACTERIZATION AND FINITE ELEMENT ANALYSIS OF A NOVEL MODEL OF DEDICATED PLATE FOR OSTEOSYNTHESIS OF THE ILIUM IN DOGS

ABSTRACT – The aim of the study was to develop and evaluate a locking plate to the use in iliac fractures of dogs, stainless steel and titanium, evaluating behavior and stiffness under mounting load by finite element analysis. Initially, measurements of five cadaveric pelvis were performed as a previous study to determine the dimensions and shape of the new implant. Subsequently, a pelvis of a young, 25 kg, mixed breed dog was used to make the initial mold. With the aid of polymethylmethacrylate (PMMA) an initial mold was created under the wing of the ilium to the cranial region of the acetabulum. From this mold, the design of the plate was carried out through the computer aided design (CAD). The iliac plate (PI) presents its own anatomical characteristics in shape based on the contour of the wing surface and iliac body. It has an ellipse shape in the cranial portion, with 9 holes, and triangular in the caudal region with three holes, all locked and corresponding to a system 3.5 mm. It has angulations of the pre-established screws, the skulls being divergent and the flow rates slightly directed to flow. From the tomography of the pelvis that was used as a mold, digital three-dimensional reconstruction (3D) was performed and improved in computer design (CAD) of the pelvis and plate to the ilium. CAD images were exported to the Rhinoceros 6 and later for Simlab 2018 for finite element model production working with 3D elements with linear format functions. A load of 300 Newton (N) will be applied in a distributed in the contact area of the femur-hip joint to simulate the actual behavior of the join for both plate models. The solution of the model was made in the program OptiStruct 2017. The results were obtained through a Hyperview 2017 in which the visualization of the findings was seen on a color scale, where each tint match the buildup of tension on the structure. The PI presented an adequate format an angulations. Of the screws, the most required were those insert in the ventral portion of the cranial segment.

Keywords: fractures, implant, locking plate, pelvic, sacroiliac

LISTA DE ABREVIATURAS

°: grau
%: porcentagem
3D: tridimensional
CAD: “computer aided design”
CEUA: comitê de ética no uso de animais
DCP: placa dinâmica compressiva
DICOM: “digital imaging and communications in medicine”
E: módulo de elasticidade
FCAV: faculdade de ciências agrárias e veterinárias
FE: elementos finitos
kg: quilograma
LCP: placa bloqueada compressiva
LC-DCP: placa dinâmica compressiva de baixo contato
mm: milímetro
MPa: mega pascal
N: newton
N/A: não aplicável
PDI: placa dedicada ilíaca
PMMA: polimetilmetacrilato
SOP: implante “String-of-Pearls”
SP: São Paulo
STL: “standard tessellation language”
TC: tomografia computadorizada
TPLO: osteotomia de nivelamento da meseta tibial
UNESP: universidade estadual paulista
v: coeficiente de poisson
VMES: von mises

LISTA DE FÍGURAS

CAPÍTULO 2

- Figura 1.** Imagem fotográfica da hemipelve direita de cão, na vista lateral. Representando as medidas realizadas sobre o ílio para determinar as medidas reais da placa. O comprimento do rebordo cranial acetabular até a crista ilíaca, representada pela linha vermelho. Largura da asa e do corpo ilíaco, pelas em linhas verde, largura da região cranial ao acetábulo (linha amarela). O ponto preto representa a média da região de inserção sacroilíaca. Os pontos em cinzas representam os locais dos orifícios da placa. **9**
- Figura 2.** Desenho do novo modelo de placa ilíaca, com formato em elipse na porção cranial e triangular na caudal. Possui 80 mm de comprimento, 27.5 mm e 19 mm de largura na porção cranial e caudal da placa, respectivamente, e 3 mm de espessura. A intersecção entre a parte cranial e caudal possui 14 mm de largura e a região central ficou livre com medidas de 13.5 mm e 48.5 mm de largura e comprimento, respectivamente (a). Os parafusos craniais apresentam 6 graus de divergência e os caudais são inclinados para caudal em 12 graus. A placa possui 27 graus de flexão (b). **10**
- Figura 3.** Imagens do programa “Rhinoceros”. (a) Desenho da pelve para realização dos testes, com *gap* de 2mm mimetizando uma fratura oblíqua no corpo do ílio direita, com a placa alocada e os parafusos inseridos. (b) Parafusos que foram distribuídos e enumerados para este modelo de estudo. **11**
- Figura 4.** Imagem tridimensional do programa “Rhinoceros”. Vista medial da asa ilíaca direita a qual foi mimetizado a fratura e alocado a placa e os parafusos. A aplicação dos parafusos craniais e caudais no segmento da fratura foram inseridos em região de maior espessura ilíaca. **12**
- Figura 5.** Valores de estresse von mises (MPa) nos parafusos na vista dorsal e ventral. Os parafusos 2 e 4 foram os que sofreram menor estresse (17.3 MPa), enquanto que os parafusos 1 e 3 foram os que sofreram maior estresse, 51.9 MPa e 75 MPa, respectivamente. Para os parafusos 5, 6 e 7 os valores médios de estresse foi de 40.4 MPa. **14**
- Figura 6.** Valores de estresse von mises (MPa) na região externa e interna do implante. A região que sofreu maior estresse na placa foi próximo a linha de fratura (seta preta), na região dorsal, ventral e de intersecção da porção cranial e caudal da placa, com valores médios de estresse de 51.9 MPa. **15**
- Figura 7.** Valores de estresse von mises (MPa) no osso cortical. A) Estresse mínimo de compressão que a pelve sofreu principalmente na região dos parafusos 3, 5, 6 e 7. B) Indicado pela seta amarela a região de estresse máximo de tração no local de inserção dos parafusos 3 e 5.. **15**

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

Introdução e justificativa

Cerca de um quarto de todas as fraturas em pequenos animais é representado por fraturas pélvicas, geralmente causadas por traumas de alta energia. As fraturas do corpo ilíaco são responsáveis por 18 a 46% dos casos das fraturas pélvicas, sendo a maioria oblíqua longa e, frequentemente, ocorrem de forma concomitante às fraturas do ísquio, púbis ou disjunção sacrilíaca (Gibson et al., 2014; Kenzig et al., 2017).

Grande variedade de técnicas e opções de placas estão descritos para o tratamento das fraturas ilíacas. Entretanto, a despeito de décadas de estudos, não se observa um implante realmente próprio ou dedicado especificamente a estes cenários clínicos, que apresente resultados efetivos e devidamente comprovados (Chou et al., 2013).

Na atualidade, o procedimento mais comumente realizado para tratamento das fraturas do ílio é a osteossíntese lateral com placas bloqueadas. Outros métodos alternativos incluem: aplicação da placa ventral, com ou sem a placa lateral, dorsal ao ílio, fixação interfragmentária, colocação de parafusos compressivos, fixações compostas por pinos, parafusos e fio ortopédico associados ou não ao polimetilmetacrilato (PMMA), assim como a estabilização com fixação esquelética externa (Gibson et al., 2014; Scrimgeour et al., 2017).

As estabilizações, em sua maioria, ocorrem por redução aberta e pela aplicação lateral de placas e parafusos no ílio (Kenzig et al., 2017), uma vez que a abordagem é mais simples e permite melhor visualização da fratura. Segundo Gibson et al. (2014), pela superfície de tensão do ílio ser ventromedial, tem sido recomendado que os implantes sejam implantados ventralmente, para melhorar a estabilidade biomecânica, entretanto, o tempo cirúrgico e a dificuldade de estabilização da placa na superfície ventral podem ser desvantagens relevantes (Hutchinson et al., 2005).

As primeiras placas a serem utilizadas foram as placas convencionais não bloqueadas, mas por dependerem do atrito entre a placa e o osso para proporcionarem estabilidade adequada, tornam-se potencialmente fracas na interface entre o parafuso e o osso. Os parafusos fixados em regiões de menor estoque ósseo,

podem gerar incapacidade de exercerem força adequada para impedir o movimento do implante e da fratura. E a quantidade de compressão necessária para produzir atrito entre o osso e uma placa de compressão padrão pode afetar o suprimento sanguíneo periosteal (Oh et al., 2009; Kenzig et al., 2017).

As placas bloqueadas tem sido a primeira escolha dos cirurgiões na atualidade, pois apresentam ângulo fixo entre a cabeça do parafuso e a placa, permitindo estabilidade axial e angular, eliminando a necessidade do contato da placa ao osso (Scrimgeour et al., 2017). Nos implantes bloqueados a complicação de afrouxamento dos parafusos não tem sido relevante (Scrimgeour et al., 2017). É proposto, que o afrouxamento dos parafusos seja reduzido pela diminuição da tensão em cada parafuso individualmente em placas de bloqueio (Rose et al., 2011, McCarteney et al., 2018).

Neste cenário, os implantes de bloqueio ganharam popularidade por reduzirem a incidência de complicações de afrouxamento dos parafusos e permitirem melhoria na instabilidade do implante comparada aos não bloqueados. Na atualidade, tem-se utilizado diversos tipos de placas para estabilização das fraturas ilíacas como: placas de compressão de travamento, placas cortáveis, placas T, placas duplas, o implante “String-of-Pearls” (SOP), placa de TPLO e placas de compressão dinâmica, entretanto poucos são os relatos descritos sobre os resultados da utilização dessas placas não específicas para o ílio (Chou et al., 2013, Kenzig et al., 2017).

Devido ao pequeno espaço disponível entre a linha de fratura e o rebordo acetabular cranial e a superfície de tensão ventromedial do ílio, torna-se um desafio realizar a estabilização das fraturas ilíacas, uma vez que, permite na grande maioria a fixação de apenas dois parafusos caudais ao local das fraturas, e mesmo que o segmento cranial tenha menor número de parafusos inseridos, isto implica diretamente ao afrouxamento do parafuso (Scrimgeour et al., 2017). Portanto, o ideal é que haja maior quantidade de parafusos bloqueados por comprimento da placa, pois pode aumentar o poder de fixação da placa, distribuindo a carga entre os parafusos e reduzindo o estresse individual dos parafusos (Vangundy et al., 1988, Chou et al., 2013, Zanetti et al., 2017).

De acordo com a literatura compilada, o uso dos implantes para fraturas ilíacas na medicina veterinária é baseado em adaptações de placas já existentes no

mercado. Acredita-se que o afrouxamento dos parafusos que ocorre em cerca de 21% dos casos (Breshears, et al., 2004), ocorram pela dificuldade na aplicação da área com tecido ósseo mais espesso, isso se deve, principalmente ao fato de não haver nenhuma placa específica para fraturas ilíacas (Gibson et al., 2014).

Os modelos já existentes não são tão precisos quanto à eficácia na fixação dos implantes, sucedendo em erros de bloqueios, diminuição e/ou perda da estabilidade dos aparatos no ílio. Os resultados das pesquisas não demonstram nenhuma diferença estatística entre os modelos de implantes não específicos utilizados, desta forma não se tem determinado qual o melhor tipo de implante que deve ser utilizado em fraturas ilíacas, uma vez que, a taxa de falhas do implante é considerável (Breshears, et al., 2004, Scrimgeour et al., 2017).

Visto isso, busca-se desenvolver novo modelo de placa bloqueada com formato anatomicamente compatível com o ílio, que proporcione excelente redução e estabilidade, que permitirá melhor fixação na pelve devido o posicionamento dos parafusos na parte dorsal e ventral da pelve. Devido a força de tensão do ílio ser ventromedial, no eixo neutro das forças do osso, a movimentação no sentido ventrodorsal minimiza as falhas de implante, devido à quantidade de parafusos, por possuir maior quantidade de orifícios bloqueados na placa, tanto na parte proximal quanto na distal da placa.

Objetivos

1. Objetivo geral

Desenvolver e caracterizar placa óssea bloqueada dedicada especificamente para uso em fraturas ilíacas em cães e analisar o comportamento da construção placa-parafuso por meio de análise em elementos finitos com interação dos tecidos adjacentes.

Hipótese

Acredita-se, hipoteticamente, que:

- a construção placa-parafuso apresente menor acúmulo de tensão e melhor resistência, pela distribuição da placa sobre o corpo ilíaco e predefinição da angulação dos parafusos; criando-se assim, modelo de implante mais adequado para osteossíntese de ílio.

Referências

Breshears, LA, Fitch, RB, Wallace, LJ, Wells, CS, Swiderski. (2004) The radiographic evaluation of repaired canine ilial fractures (69 cases). **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology**. 17:64-72.

Case JB, Dean C, Wilson DM, Knudsen JM, James SP, Palmer RH (2011) Comparison of the mechanical behaviors of locked and nonlocked plate/screw fixation applied to experimentally induced rotational osteotomies in canine ilia. **Veterinary Surgery**. 41:103-113.

Chou P, Runyon C, Bailey T, Béraud R (2013) Use of Y-shaped TPLO plates for the stabilization of supracotyloid ilial fractures in four dogs and one cat. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology**. 26:226-232.

Gibson TWG, Runcman RJ, Bruce CW (2014) A comparison of conventional compression plates and locking compression plates using cantilever bending in an ilial fracture model. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology**. 27:430–435.

Hutchinson GS, Griffon DJ, Siegel AM, Pijanowski GJ, Kurath P, Eurell JAC, Johnson AL (2005) Evaluation of a osteoconductive resorbable calcium phosphate cement and polymethylmethacrylate for augmentation of orthopedic screws in the pelvis of canine cadavers. **American Journal of Veterinaty Research**. 66:1954-1960.

Kenzig AR, Butler JR, Priddy LB, Lacy KR, Elder SH (2017) A biomechanical comparison of conventional dynamics compression plates and string-of-pearls™ locking plates using cantilever bending in a canine ilial fracture model. **BMC Veterinary Research**. 13:222-227.

Mccartney M, Macdonald B, Ober CA, Lorza RL, Gómez FS (2018) Pelvic modelling and the comparison between plate position for double pelvic osteotomy using artificial cancellous bone and finite element analysis. **BMC Veterinary Research**. 14.

Mills J (2009) Transilial interlocking plate stabilization of a sacral fracture and an ilial fracture in a dog. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology**. 22:70-73.

Oh JK, Sahu D, Ahn YH, Lee SJ, Tsutsumi S, Hwang JH, Jung DY, Perren, SM, Oh CW (2009) Effect of fracture gap of stability of compression plate fixation: A finit element study. *Journal of Orthopaedic Research*. 28:462-467.

Polikeit A, Ferguson SJ, Schamalder P (2007) Ellbogendyplasie beim Hund: Finit-element-analyse. 52:308-314.

Scrimgeour A, Witte P, Craig A (2017) Locking T-plate repair of ilial fractures in cats and small dogs. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology**. 30:453-460.

Vangundy TE, Hulse DA, Nelson JK, Boothe HW (1988) Mechanical Evaluation of Two Canine Iliac Fracture Fixation Systems. **Veterinary Surgery**. 17:321–327.

Rose SA, Bruecker KA, Petersen SW, Uddin N (2011) Use of locking plate and screws for triple pelvic osteotomy. **Veterinary Surgery**. 41:114-120.

Zanetti EM, Terzini M, Bignardi C, Costa P, Audenino AL, Vezzoni A (2017) A structural numerical model for the optimization of double pelvic osteotomy in the early treatment of canine hip dysplasia. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology**. 20:256-264.

CAPÍTULO 2 – Estudo preliminar de uma nova placa para fraturas ilíacas em cães¹

Normas do periódico “BMC Veterinary Research” (Anexo 1)

Resumo

Contexto: A análise de elementos finitos foi utilizada para avaliar o comportamento de uma nova placa dedicada ao ílio, desenvolvida e testada laboratorialmente em aço inoxidável. Foi criado molde inicial com dimensões da placa baseado em um grupo de pelves cadavéricas de cão de 25 kg. A placa possui formato elíptico na porção cranial, contendo nove orifícios e com o centro da elipse contendo elemento vazado. Na porção caudal apresenta formato triangular contendo outros três orifícios. As angulações da placa e dos parafusos foram pré-definidas. Uma pelve do grupo foi então digitalizada tridimensionalmente a partir de imagem tomográfica e refinada posteriormente por desenho assistido por computador (CAD). As imagens foram exportadas para o “software SimbLab” para produzir modelo de elementos finitos com funções de forma linear. Carga de 300 N foi aplicada de forma distribuída no acetábulo, a fim de simular o comportamento real da articulação. A solução do modelo foi feita no programa “OptiStruct” e o valor de tensão von mises, máxima e mínima foi gerado em escala de cor pelo programa “HyperView” e o resultado avaliado de forma quantitativa.

Resultados: O novo modelo de placa mostrou-se potencialmente factível. O implante dedicado apresentou estresse médio na placa de 51.9 MPa. Os parafusos 2 e 4 apresentaram valores médios de estresse semelhantes (17.3 MPa). O parafuso 1 e 3 foram os mais exigidos, com valores médios de 51.9 MPa e 75 MPa, respectivamente. Os parafusos 5, 6 e 7 apresentaram dissipação e valores de tensão semelhantes (28.85 MPa). Houve força de tração na região dorsal e compressão na parte ventral do púbis, com dissipação e valores médios de 15.4 MPa e 26.93 MPa, respectivamente. O novo implante apresentou tensões bem distribuídas sobre a placa.

Conclusão: O modelo de construção placa-parafuso apresentou-se adequado, acoplável e especificamente apropriado para fraturas ilíacas. Apresentou compartilhamento de carga e estresse bem distribuído pelos parafusos e placas.

¹ Este capítulo corresponde ao artigo científico a ser submetido ao periódico “BMC Veterinary Research”.

Palavras-chave: Corpo do ílio, Estoque ósseo, Fraturas, Implantes, Placa bloqueada

Introdução

Fraturas de pelve ocorrem em aproximadamente 25% de todos os cães politraumatizados [1-6-15]. Dentre elas, as do ílio representam 18 a 46% e, geralmente, são oblíquas e associadas a fraturas púbicas e disjunção sacrilíaca [2-4-7].

As fraturas ilíacas são usualmente abordadas de forma cirúrgica, sendo a aplicação de implantes na face lateral da asa e/ou corpo do ílio, a mais rotineiramente utilizada [3-8]. Técnicas alternativas ou coadjuvantes incluem parafusos compressivos, placa na face ventral ou dorsal, combinação de placas multiplanares, fixação esquelética externa, pinos intramedulares ou fio ortopédico [4-6-16]. Apesar da variedade de técnicas descritas, nenhuma é considerada ideal ou realizada com um implante realmente para este propósito. Com isso o índice de complicações é considerável (21%), principalmente representado pela falha do implante devido ao afrouxamento dos parafusos [3-5-20].

A maioria das falhas são atribuídas ao afrouxamento do parafuso, que pode levar a perda da redução, deslocamento medial do segmento acetabular e resultar em estreitamento do canal pélvico e / ou não união [6-4-17]. Sugere-se que, uma das razões para alta incidência do afrouxamento do parafuso seja o pobre estoque ósseo ao aplicar o implante na porção cranial do ílio [5-8]. Diante disso, diversos implantes, não específicos, vem sendo utilizados, como placas em formato de T, placas de TPLO, placas de reconstrução, placas em colar de pérolas (*String-os-Pearls plates*), entre outras; sempre na tentativa de suprir a dificuldade em se obter bom estoque ósseo, especialmente na porção cranial do corpo e asa ilíaca [7-9].

O desenvolvimento de implantes específicos ou dedicados trouxeram redução das taxas de complicações de diversos procedimentos cirúrgicos na medicina veterinária, como é o exemplo da placa dedicada para a fixação das osteotomias corretivas proximais da tíbia (TPLO, TTA, CBLO) [10]. Não obstante, implantes dedicados utilizados em pacientes humanos obtiveram melhorias significantes na rigidez das tensão e torções ósseas, diminuindo o risco de afrouxamento dos parafusos e falhas de implantes [11-12].

O objetivo deste estudo foi desenvolver e caracterizar um modelo de implante ósseo específico para fraturas ilíacas, o qual permitirá melhorar o estoque ósseo na porção cranial do ílio e beneficiar a fixação de fraturas localizadas nesta região. Será analisado, por meio de elemento finitos, o comportamento mecânico da placa e a interação com os tecidos adjacentes.

Material e Métodos

Design da placa dedicada ao ílio

Para determinar as propriedades estruturais da placa específica ao ílio (PI) foram realizadas medidas de cinco pelvises cadavéricas de cães entre 25 a 30 kg, com o propósito de determinar / avaliar um formato universal que se adequasse a todos modelos pélvicos desses cães. As medidas aferidas foram, a largura da asa e do corpo ilíaco, largura da região cranial ao acetábulo e comprimento da região cranial ao acetábulo até a crista ilíaca (Fig. 1).



Figura 1. Imagem fotográfica da hemipelve direita de cão, na vista lateral. A imagem apresenta o local das medidas realizadas sobre o ílio para determinar as medidas reais da placa. O comprimento do rebordo cranial acetabular até a crista ilíaca, representada pela linha vermelho. Largura da asa e do corpo ilíaco, pelas linhas em verde, largura da região cranial ao acetábulo (linha amarela). Os pontos em cinzas representam os locais dos orifícios da placa.

Realizou-se adicionalmente revisão bibliográfica sobre a anatomia da pelve canina e as principais peculiaridades que dificultam o sucesso das osteossínteses ilíacas. Avaliou-se as regiões pélvicas em que os parafusos poderiam alcançar maior estoque ósseo nos segmentos caudal e cranial, e possíveis modelos e formatos de

placa para melhor distribuição de estresse, prevenindo sobrecarga aos parafusos, especialmente os craniais.

Foi então utilizada como molde do estudo uma das pelves que serviram para aferição das medidas, canino, sem raça definida, jovem, de 25 kg, o qual foi a óbito por causas não correlacionadas ao estudo e submetido a tomografia pélvica para os testes em elementos finitos. Imediatamente após o óbito, realizou-se remoção da pele, músculos e demais tecidos moles adjacentes à caixa pélvica. O espécime foi lavado em água corrente e realizado processo de maceração. Com o osso macerado, inicialmente se utilizou massa de modelar para reproduzir e estudar o modelo da placa. Consequente buscou-se alcançar maior quantidade de parafusos no segmento cranial e conter no mínimo de três orifícios para parafusos na porção caudal.

Posteriormente a pelve foi envolta com plástico filme e recoberta por polimetilmetacrilato (PMMA) desde a região cranial ao acetábulo até a região do corpo ilíaco, de modo que preenchesse toda essa região. Conseguiu-se dessa forma um molde negativo da superfície a ser estudada.

O modelo da placa foi então delineado em formato de elipse com 80 mm de comprimento, 27.5 mm e 19 mm de largura na porção cranial e caudal respectivamente; a transição entre a parte cranial para caudal possui 14 mm de largura e espessura de 3 mm. A área central da elipse ficou livre, com medidas de 13.5 mm por 46.5 mm na largura e comprimento (Fig. 2a) respectivamente, de modo que o molde acompanhasse o formato da asa e do corpo do ílio e fosse mais versátil.

A parte cranial da placa constituída de dois ramos, forma uma semi-elipse com 4 orifícios em cada ramo e um orifício na curvatura cranial. A parte caudal possui formato de triângulo com 3 orifícios. Os orifícios da porção cranial são divergentes 6°, ou seja, direcionados para borda do ílio devido à maior densidade óssea encontrada nessa região. Já os orifícios caudais da placa, são direcionados para caudal em um ângulo de 12 graus para abranger maior estoque ósseo (Fig. 2b). O conjunto de placa e parafusos são equivalentes a um sistema de 3.5 mm com angulação de flexão pré-definida de 27° graus, e parafusos de comprimento de 20 mm e alma 2.9 mm.

Um modelo sólido intacto digital de pelve foi construído usando dados da tomografia computadorizada (Shimadzu SCT -7800 CT, Kyoto, Japão) do mesmo cão utilizado para criar os moldes da placa em PMMA. Todas as imagens (DICOM) foram

processadas na secção transversal para identificar contornos de vários tecidos duros (osso cortical e esponjoso).

O desenvolvimento da placa foi realizado em programa de desenho mecânico pelo “computer aided design” (CAD), conforme as medidas citadas. O arquivo foi exportado em formato *step* para o programa do *Rhinoceros* 6.0.

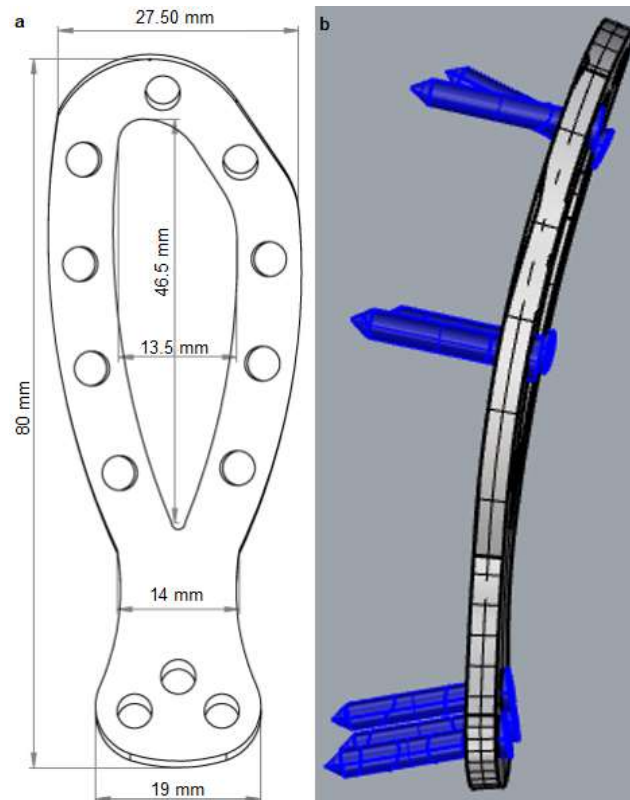


Figura 2. Desenho do novo modelo de placa íliaca, com formato em elipse na porção cranial e triangular na caudal. Possui 80 mm de comprimento, 27.5 mm e 19 mm de largura na porção cranial e caudal da placa, respectivamente, e 3 mm de espessura. A intersecção entre a parte cranial e caudal possui 14 mm de largura e a região central ficou livre com medidas de 13.5 mm e 48.5 mm de largura e comprimento, respectivamente **(a)**. Os parafusos craniais apresentam 6 graus de divergência e os caudais são inclinados para caudal em 12 graus. A placa possui 27 graus de flexão **(b)**.

No programa “Rhinoceros” 6.0, o desenho da pelve foi desenvolvido com “gap” de 2 mm na hemipelve direita, mimetizando fratura oblíqua no corpo do ílio, além da alocação da placa em tela e os parafusos sob a pelve. Os orifícios utilizados para fixação da placa na pelve foram distribuídos de tal forma que 4 destes ficaram localizados na porção cranial, sendo 2 em cada semi-elipse e, os outros 3 parafusos

alocados na porção caudal da placa, enumerados na Fig. 3. Os parafusos foram fixados para comportar-se como parafusos bloqueados.

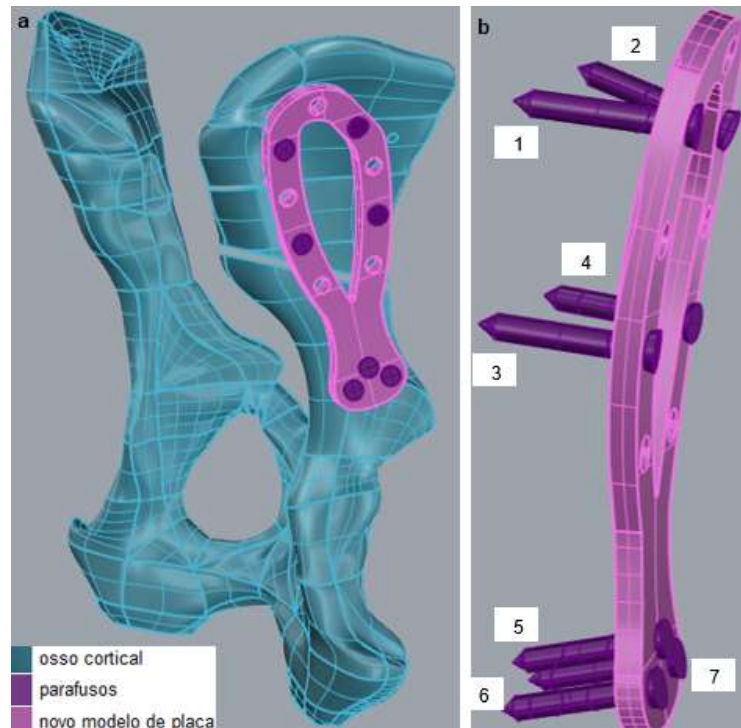


Fig. 3 Imagens do programa “Rhinceros”. (a) Desenho da pelve para realização dos testes, com “gap” de 2 mm mimetizando uma fratura oblíqua no corpo do ílio direita, com a placa alocada e os parafusos inseridos. (b) Parafusos que foram distribuídos e enumerados para este modelo de estudo.

Análise em elementos finitos da placa dedicada ao ílio

As imagens foram exportadas para “Software SimLab” 2018, onde os modelos tridimensionais de elementos finitos (FE) com elementos tridimensionais isoparamétrico de 4 nós elementos tetraédricos foram utilizados para pelve, placas e parafusos. Um tamanho médio de elemento 0,75 mm foi utilizada para cortical e esponjoso osso, enquanto que para os tamanhos de elementos de placas e parafusos de 0,6 mm e 0,5 mm, respectivamente.

Neste estudo, um novo modelo de placa foi estudada em aço inoxidável 316L, a fim de determinar a rigidez e a resistente diante da fixação da construção placa-parafusos. As propriedades do material usado para o osso cortical módulo de elasticidade (E) = 17.000 mega pascal (MPa) e coeficiente de Poisson (ν) = 0,25, enquanto que para os esponjosos foram utilizados valores de E = 776 MPa e ν = 0,3.

Uma liga de aço inoxidável (316L) $E = 200.000 \text{ MPa}$ e $\nu = 0,3$ foi adotada a partir da literatura compilada [8-22-27-28].

Os contatos entre as superfícies foi considerado “slide” para detectar contato mecânico entre a placa e a pelve, que permite o deslizamento entre os elementos. O contato mecânico entre os parafusos e a pelve (osteotomia no ílio) foi definida por meio de contato de cola entre os nós correspondentes em ambos os corpos. A placa proposta trabalhará com parafusos bloqueados por isso o contato entre a placa e parafuso foi considerado colado [13]. As mesmas condições de limite foram aplicadas em todos os materiais da placa, a fim de comparar a diferença de rigidez obtida.

Força equivalente a 300 N foi aplicada em todos os modelos de FE. Esta força era composta por forças nos eixos x, y e z, em que a resultante era ventromedial. A carga foi aplicada de maneira distribuída na articulação coxofemoral, a fim de simular o comportamento real da transferência de força entre o fêmur e a pelve. O movimento que conecta a pelve à coluna vertebral foi restringido [22].

Foi avaliado o estresse equivalente *von mises* (VMES) que fornece a representação conveniente da situação de estresse nas placas, parafusos e as tensões máximas e mínimas principal no osso. Análises quantitativas foi utilizada para avaliar as tensões geradas na superfície externa e interna do corpo do implante e seus respectivos componentes. De acordo com os resultados obtidos, foi avaliado os valores médios das maiores áreas da concentração de estresse.

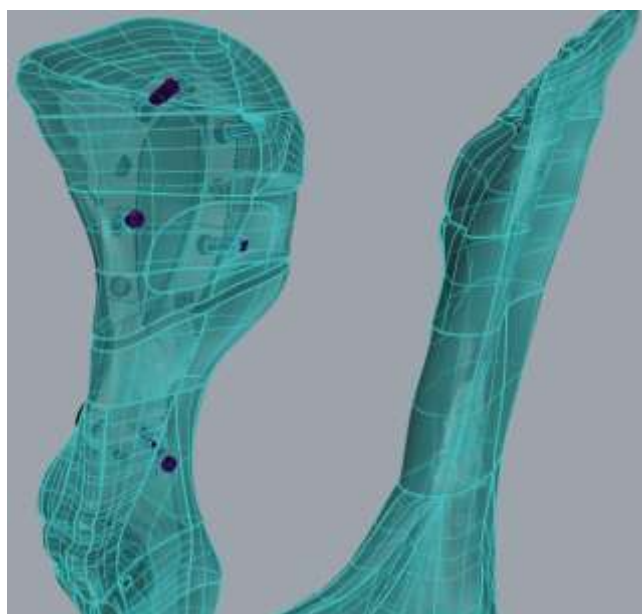


Fig. 4 Imagem tridimensional do programa “Rhinceros”. Vista medial da asa ilíaca direita a qual foi mimetizado a fratura e alocado a placa e os parafusos. A aplicação dos parafusos craniais e caudais ao segmento da fratura foram inseridos em região de maior espessura ilíaca.

Resultados

Distribuição do estresse nos parafusos

Os parafusos caudais, com 12 graus de inclinação caudal, permitiram bom estoque ósseo com bom compartilhamento de carga com as outras estruturas (Fig. 4). Já os parafusos craniais, sendo divergentes 6 graus, permitiram que abrangesse a parte do ílio com maior estoque ósseo, além de consentir a disponibilidade de distribuição dos parafusos no segmento.

Os parafusos 2 e 4 foram os menos exigidos do modelo, mas sofreram estresse semelhantes de 17.3 MPa; diferentemente dos parafusos 1 e 3 que sofreram maior estresse, com valores médios de 51.9 MPa e 75 MPa, respectivamente. Houve estresse e dissipação semelhantes nos parafusos 5, 6 e 7, com valores médios de 40.4 MPa (Fig. 5). Todos os parafusos sofreram a maior concentração de tensão na região do corpo do parafuso, próximo a cabeça.

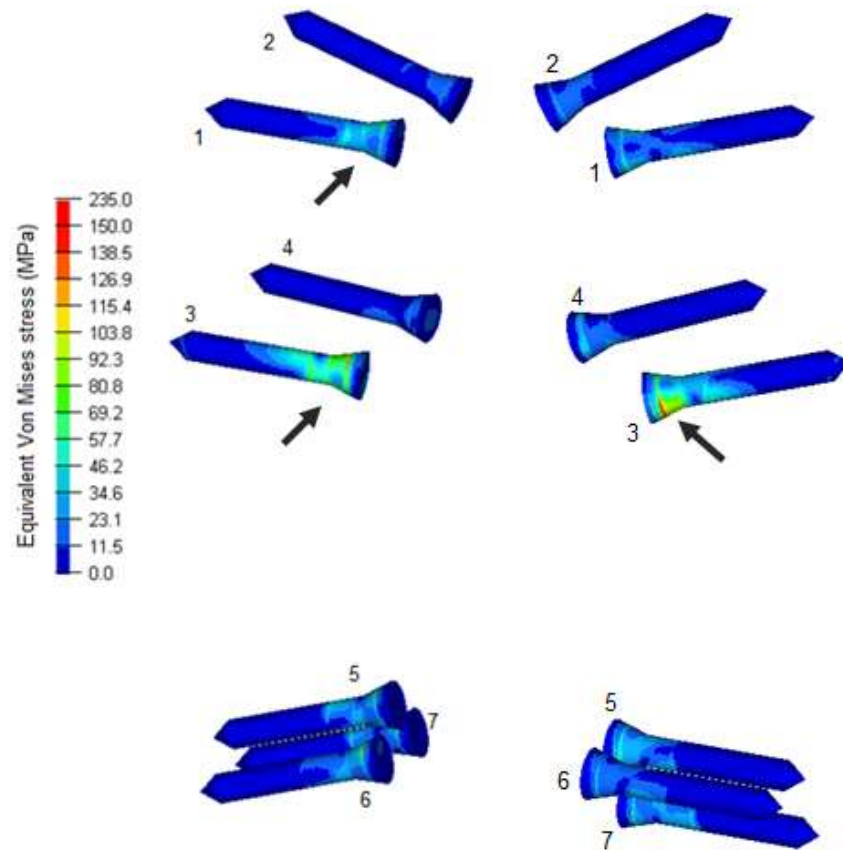


Fig. 5 Valores de estresse *von mises* (MPa) nos parafusos na vista dorsal e ventral. Os parafusos 2 e 4 foram os que sofreram menor estresse (17.3 MPa), enquanto que os parafusos 1 e 3 foram os que sofreram maior estresse, 51.9 MPa e 75 MPa, respectivamente. Para os parafusos 5, 6 e 7 os valores médios de estresse foi de 40.4 MPa.

Distribuição do estresse na placa

A região mais exigida da parte cranial da placa íliaca foi próximo a linha de fratura íliaca indicado pela seta preta na figura 6, nas duas semi-elipses, com tensão e valores médios de 51.9 MPa. Na região caudal houve distribuição de força da placa com os parafusos. A angulação pré-definida auxiliou na aplicação da placa evitando a necessidade de pré-modelagem para perfeito acoplamento do implante na face lateral do osso íliaco.

Distribuição do estresse no osso cortical

O local de inserção dos parafusos 3, 5, 6 e 7 e a região dorsal do púbis sofreram força de tração na pelve (Fig. 7b). E a força de compressão ocorreu na região ventral do púbis e no orifícios de inserção dos parafusos 3, 5, 6 e 7 (Fig. 7a).

Os valores médios de tração para as regiões foram de 15.4 MPa tanto para o púbis quanto para os parafusos 5, 6 e 7; e de 21.55 MPa para o parafuso 3. O valor médio de compressão foi semelhante para o púbis e para a região do orifício do parafuso 3, ambos apresentaram 23.9 MPa; e o local de inserção dos parafusos 5, 6 e 7 apresentaram valores de 19.25 MPa.

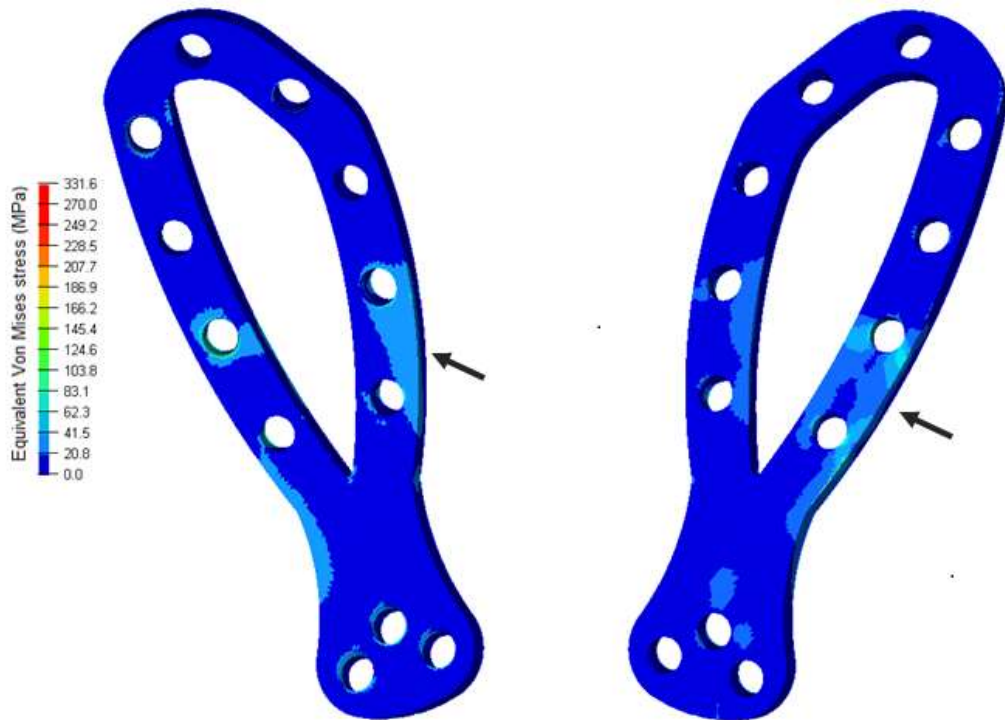


Figura 6. Valores de estresse *von mises* (MPa) na região interna e externa do implante. A região que sofreu maior estresse na placa foi próximo a linha de fratura (seta preta), na região dorsal, ventral e de interseção da porção cranial e caudal da placa, com valores médios de estresse de 51.9 MPa.

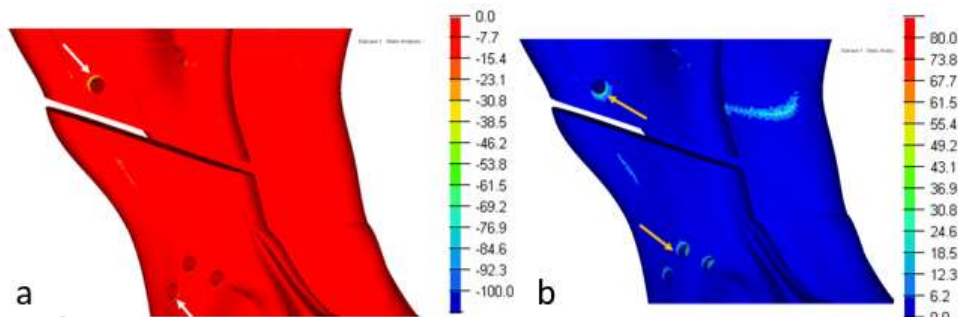


Figura 7. Valores de estresse *von mises* (MPa) no osso cortical. A) Estresse mínimo de compressão que a pelve sofreu principalmente na região dos parafusos 3, 5, 6 e 7. B) Indicado pela seta amarela a região de estresse máximo de tração no local de inserção dos parafusos 3 e 5.

Discussão

Investigações laboratoriais e clínicas sobre o implante ideal a ser utilizado em fraturas ilíacas são realizados com frequência, mas praticamente todos os métodos são adaptações de placas já existentes no mercado. De todos modelos já estudados nenhum apresentou eficácia precisa na fixação dos parafusos, sucedendo em erros de fixação ou perda da estabilidade dos implantes [4]. Com isso, estabilidade efetiva promovida pelo dispositivo de fixação, de forma confiável e duradoura, segue entre objetos de desejo entre cirurgias veterinárias ortopedistas.

Diante de ampla fundamentação teórica e clínica dos benefícios de implantes cirúrgicos dedicados observado na medicina e odontologia [13], a medicina veterinária deve caminhar também neste sentido, o que já é visto em diversos procedimentos [10-11-12]. Inspirados em tais fatos e visto a lacuna existente no tratamento cirúrgico das fraturas ilíacas, o presente trabalho traz, de forma inédita, implante dedicado especificamente à fraturas do ílio com benefícios promissores, visto seu design e resultados encontrados.

Traz-se um novo modelo de placa óssea (PI), desenvolvida a partir de análises anatômicas e mecânicas, as quais culminaram em um dispositivo dedicado ao formato do ílio. Destacam-se características como distribuição equilibrada das forças e tensões, angulações pré-estabelecidas da placa e parafusos para alcançar maior estoque ósseo e diversidade de opções de orifícios para atender diferentes tipos de fraturas ilíacas. De forma geral, buscou-se melhorar a performance mecânica e ajuste ao osso.

Durante o desenvolvimento da PI procuramos transpor as problemáticas mais desafiadoras das fixações de fraturas ilíacas, especialmente representadas pelo pobre estoque de osso para fixação de parafusos no segmento cranial [7], e reconstrução da curvatura anatômica do ílio [2-9-26]. Com configurações angulares divergentes dos parafusos no segmento cranial, considerando a posição de inserção da placa no ílio, obteve-se maximização de estoque de fixação óssea, o que evidentemente amplia sua capacidade de distribuir carga e resistir as forças assim como as deficiências citadas por Kenzig et al. (2017), além de prevenir o colapso pélvico.

O formato em elipse e a disponibilidade múltipla de orifícios com angulações divergentes na porção cranial permitiu aprimorar a fixação do implante na asa e porção cranial do corpo do ílio, o que vem sendo tentado insistentemente com implantes não específicos, como a placa de TPLO ou duas placas [7-8]. Estas adaptações permitem ampliação do estoque ósseo de fixação no segmento cranial [7-9], entretanto perde-se em distribuição de forças.

A pré-moldagem anatômica da placa, com 27 graus de flexão, atua eficientemente na restauração da curvatura ilíaca, sem a necessidade obrigatória de moldagem adicional. Este fato, associado aos ângulos divergentes dos parafusos, estrategicamente planejados, permitem que se obtenha respostas desejadas e esperadas de comportamento mecânico da placa, diferentemente de uma placa reta ou mesmo de TPLO as quais necessitam moldagens excessivas [9].

Durante as análises realizadas observou-se que os parafusos 1 e 3 da PI foram mais desafiados em comparação aos demais. Com base em forças mecânicas atuantes na região do ílio e articulação coxofemoral [13-14], acredita-se que esses parafusos se encontram na região que sofre maior carga, o que justifica o resultado encontrado. A região que sofreu maior tensão na porção cranial da placa foi próximo à linha de fratura e é a superfície de compressão durante a aplicação de carga. A distribuição homogênea e estratégica dos parafusos pode deixar a PI potencialmente mais resistente que placas retas ou adaptadas, as quais tendem a apresentar acúmulos mais pontuais de tensão, aumentando a chance de falha, geralmente representado por fraturas no segmento caudal e / ou afrouxamento dos parafusos [7-16].

O parafuso 3 da PI é o que fica mais próxima a linha de fratura, e foi o mais exigido de todos, sofrendo tensão máxima de 80.8 MPa. Considerando que os procedimentos ilíacos carregam como principal complicação o afrouxamento do parafuso cranial [5-6-18], principalmente próximo à linha de fratura, e que se afrouxa ao receber um estresse mínimo de 87.52 MPa [7-15], acreditamos ter aprimorado a resistência da nossa placa a esta complicação.

A parte caudal triangular da PI permite inserir três parafusos levemente angulados para caudal, provendo maior estoque ósseo na região cranial ao acetábulo, e abraçando eficazmente as diretrizes de uma placa nesta região [10]. Tal tarefa

mostra-se altamente desafiadora quando se tem um fragmento caudal limitado e apenas placas retas estão disponíveis. O espaço entre a linha de fratura e a região cranial ao acetábulo torna-se reduzido e, muitas vezes, recorre-se a placas de outras especificidade [4-9-10].

Do ponto de vista mecânico, as forças de tração e compressão no púbis foram resultantes da carga de tensão exigida na região ventrocranial da placa. Apesar de existente, acredita-se que o estresse sofrido na região do púbis não é suficiente para que haja fraturas pós-operatórias, pois espera-se que apenas valores de estresse acima de 100 MPa levem o osso cortical a falha [10]; e o valor máximo de estresse na compressão foi 18.5 MPa, e na tração 30.8 MPa.

Finalmente, diante do fato das fraturas ilíacas frequentemente estar associadas à luxação sacroilíaca, imaginou-se durante o desenvolvimento da PDI, a possibilidade de tratamento simultâneo de ambas as condições. A área livre central da PDI na sua porção cranial permite abordagem concomitante e potencialmente eficiente da luxação sacroilíaca, com mínima interferência com a osteossíntese. Abre-se possibilidade para recuperação mais precoce com o adicional de prevenir sobrecarga sobre o ílio fraturado [2-7]. Vale lembrar que o tratamento de ambas condições simultaneamente resultou em afrouxamento do parafuso e falhas na correção da luxação [9].

Completando as características potencialmente benéficas da PI, destacamos equilíbrio e balanceamento entre as porções cranial e caudal da placa. Baseado nos resultados encontrados e considerando as forças e dissipação das tensões tanto nos parafusos quanto nos orifícios, acreditamos poder prever a elasticidade da placa. Transpondo-se tal característica para um cenário clínico acreditamos, hipoteticamente, que a PI possa apresentar comportamento mecanicamente aceitável no âmbito do controle da deformação interfragmentária, atuando favoravelmente para consolidação óssea.

Apesar de termos utilizado modelo de simulação de fratura oblíqua, diante de ser metodologia previamente descrita e linha de fratura frequentemente observada clinicamente em cães [1-8], podemos afirmar que a PI mostra-se potencialmente factível para diversas possibilidades de fraturas ilíacas. Seu design dedicado e múltiplos orifícios estrategicamente distribuídos trouxeram versatilidade.

Descrevemos resultados da análise de elementos finitos sobre o comportamento de um modelo novo de placa dedicada ao ílio. Encontramos que esta é aplicável, por fornecer estabilidade e boa distribuição de estresse sob a placa e parafusos. Este estudo de simulação em elementos finitos pode facilitar a pesquisa biomecânica complementar e o estudo clínico.

Conclusão

O novo modelo de placa mostrou-se adequada e apresenta grande potencial para suprir uma necessidade relevante no tratamento de fraturas ilíacas na medicina veterinária. Estes resultados devem ser confirmados com testes laboratoriais e estudos clínicos.

Abreviaturas

3D: tridimensional; E: módulo de elasticidade; FE: elementos finitos; KG: quilogramas; MPa: mega pascal; TPLO: osteotomia de nivelamento da meseta tibial; v: coeficiente de Poisson

Aprovação ética e consentimento para participar

O estudo foi aprovado pelo Comissão de Ética no Uso de Animais, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária – UNESP (n° 07283/19).

Consentimento para publicação

Não aplicável

Disponibilidade de dados e materiais

Não aplicável

Interesses concorrentes

Os autores declaram que não há interesses concorrentes

Financiamento

Não aplicável

Autores contribuintes

CASM e DVFL estiveram envolvidos no desenvolvimento inicial do implante. TSMM realizou análise de elementos finitos, interpretação de dados e preparação do manuscrito. LGGD e BWM contribuiu para análise e interpretação de dados e preparação de manuscritos. Todos os autores leram e aprovaram o manuscrito final.

Agradecimentos

Ao professor Doutor Antônio Carlos Shimano, responsável pelo Laboratório de Bioengenharia do Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto/USP, e a servidora Ana Paula Macedo da Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto/USP, pelo auxílio durante a execução e interpretação dos testes em elementos finitos.

Referências

1. Fitzpatrick, N, Lewis, D, Cross, A. A biomechanical comparison of external skeletal fixation and plating for the stabilization of ilial osteotomies in dogs. *Vet. Comp. Orthop. Traumatol.* 2008; 21(4):349-357.
2. Mills, J. Transilial interlocking plate stabilisation of a sacral fracture and a ilial fracture in a dog. *Vet. Comp. Orthop. Traumatol.* 2009; 22(1): 70-73.
3. Breshears L, Fitch RB, Wallace LJ, Wells, CS, Swiderski, JK. The radiographic evaluation of repaired canine ilial fractures (69 cases). *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2004; 17(2): 64–72.
4. Bruce, CW, Gibson, TWG, Runciman, RJ. A comparison of conventional compression plates and locking compression plates using cantilever bending in an ilial fracture model. *Vet. Comp. Orthop. Traumatol.* 2014;27(6):430–435.
5. Rose SA, Bruecker KA, Petersen SW, Uddin, N. Use of locking plate and screws for triple pelvic osteotomy. *Vet Surg* 2012; 41(1): 114–120.
6. Doornink, MT, Nieves, MA, Evans, R. Evaluation of ilial screw loosening after triple pelvic osteotomy in dogs: 227 cases (1992-1999). *JAVMA.* 2006; 226(4):535-541.
7. Kenzig, AR, Butler, JR, Priddy, LB, Lacy, KR, Eelder, SH. A biomechanical comparison of conventional dynamics compression plates and string-of-pearls™ locking plates using cantilever bending in a canine ilial fracture model. *BMC Vet. Resea.* 2017; 13(1): 222-227.
8. Zanetti, EM, Terzini, M, Mossa, L, Bignardi, C, Costa, P, Audenino, AL, Vezzoni, A. A structural numerical model for the optimization of double pelvic osteotomy in the early treatment of canine hip dysplasia. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2017; 30: 256-264.
9. Meeson, RL, Geddes, AT. Management and long-term outcome of pelvic fractures: a retrospective study of 43 cats. *J. Feline Med. Surg.* 2017;19(1):36-41.

10. Chou, P, Runyon, C, Bailey, T, Béraud, R. Use of Y-shaped TPLO plates for the stabilization of supracotylod ilial fractures in four dogs and one cat. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2013; 26(3): 226-232.
11. Garnett, SD, Daye, RM. Short-term complications associated with TPLO in dogs using 2.0 and 2.7 mm plates. *J American Anim. Hosp. Assoc.* 2004;50(6):396-404.
12. Karan, NB, Akinci, HO. A novel approach for horizontal augmentation of posterior maxilla using ridge split technique. *J Craniofacial Surgery.* 2019;30(5):1584-1588.
13. Zhao, L, Tian, D, Wei, Y, Zhang, J, Di, Z, He, Z, Hu, Y. Biomechanical analysis of a novel intercalary prosthesis for humeral diaphyseal segmental defect reconstruction. *Orthopaedic Surgery.* 2018;10(1):23-31.
14. Guthrie, JW, Kalff, S. Tibial plateau levelling osteotomy locking-compression plates for stabilization of canine and feline ilial body fractures. *J Small Anim. Pract.* 2017; 59(4): 232-237.
15. Hutchinson, GS, Griffon, DJ, Siegel, AM, Pijanowski, HJ, Kurath, P, Eurell, JAC, Johnson, AL. Evaluation of osteoconductive resorbable calcium phosphate cement and polymethylmethacrylate for augmentation of orthopedic screws in the pelvis of canine cadavers. *American Journal of Vet. Resea.* 2005; 66(11): 1954-1960.
16. Perren, SM, Klaune, K, Pohler, O, Predieri, M, Steinemann, S, Gautier, E. The limited contact dynamic compression plate (LC-DCP). *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 1990; 109: 304-310.
17. Kumar, S, Nehra, M, Kedia D, Dilbaghi, N, Tankeshwar, K, Kim KH. Nanotechnology-based biomaterials for orthopaedic applications: Recent advances and future prospects. *Materials Science & Engineering: C.* 2020; doi:10.1016/j.msec.2019.110154.
18. Zhu, M, Ye, H, Fang, J, Zhong, C, Yao, J, Park, J, Lu, X, Ren, F. Engineering high resolution micropatterns directly onto titanium with optimized contact guidance to promote osteogenic differentiation and bone regeneration. *ACS Applied Materials & Interfaces.* 2019; doi:10.1021/acsami.9b16050.

19. Gibson, TWG, Runciman, RJ, Bruce, CW. A comparasion of conventional compression plates and locking plates using cantilever bending in na ilial fracture model. *Vet Comp Orthop Traumatol*. 2014; 27(6): 430-435.
20. Scrimgeour, A, Witte, P, Craig, A. A locking T-plate repair o filial fractures in cats and small dogs. *Vet Comp Orthop Traumatol*. 2017; 30(6): 453-460.
21. Case, JB, Dean, C, Wilson, DM, Knudsen, JM, James, SP, Palmer, RH. Comparasion of the mechanical behaviors of locked and nonlocked plate/screw fixation applied to experimentally induced rotational osteotomies in canine ilia. *Vet. Surg*. 2011; 41(1): 103-113.
22. Mccarney, M, Macdonald, B, Ober, CA, Lorza, RL, Gómez, FS. Pelvic modelling and the comparison between plate position for double pelvic osteotomy using artificial cancellous boné and finite elements analysis. *BMC Vet. Rear*. 2018; 14(1): doi:10.1186/s12917-018-1416-1.
23. Brow, RN, Sexton, BE, Gabriel, CTM, Katona, TR, Stewart, KT, Kyung, HM, Liu SSY. Comparison of stainless steel and titanium alloy orthodontic miniscrew implants: A mechanical and histologic analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2014; 145(4): 496-504.
24. Kolomiets, A, Popov, VV, Strokin, E, Muller, G. Benefits of titanium additive manufacturing of industrial design developmente. Trends, limitations and application. *Global Jour. Of Resear. In Eng*. 2018; 18(2).
25. Mecenas, P, Espinosa, DG, Cardoso, PC, Normando, D. Stainless steel or titanium mini-implants? A systematic review. 2020; doi:10.2319/081619-536.1
26. Wahnert, D, Windolf, M, Brianza, S, Rothstock, S, Radtke, R, Brighenti, V, Schewieger, K. A comparison of parallel and diverging screw angles in the stability of locked plate constructs. *J. Bone Joint Surg. Br*. 2011;93(9):1259-1264.
27. Oh JK, Sahu D, Ahn YH, Lee SJ, Tsutsumi S, Hwang JH, Jung DY, Perren, SM, Oh CW (2009) Effect of fracture gap of stability of compression plate fixation: A finit element study. *Journal of Orthopaedic Research*. 28:462-467.
28. Polikeit A, Ferguson SJ, Schamalder P (2007) Ellbogendyplasie beim Hund: Finit-element-analyse. 52:308-314.

CAPÍTULO 3– Considerações finais

As fraturas ilíacas em cães correspondem grande parcela da casuística da ortopedia veterinária. A estabilização da fratura é realizada com diversos tipos de implantes não dedicados, pois não há um consenso de qual melhor implante a ser utilizado.

A importância no desenvolvimento de implantes específicos atualmente trouxe melhorias em diversas técnicas cirúrgicas na medicina, odontologia e na medicina veterinária. Portanto, acredita-se que o presente estudo, trará resultados relevantes e inovadores para a ortopedia veterinária.

Limitações do estudo

O bloqueio dos parafusos foram simplificados e desenhados sem roscas para não gerar elementos muito pequenos e aumentar a complexibilidade do modelo tornando propício a ocorrer erros durante a leitura dos testes. Os testes foram realizados mimetizando apenas a fratura oblíqua no corpo do ílio não considerando fraturas do púbis associado.

Perspectivas

Estudos biomecânicos com pelvis cadavéricas e clínicos são fundamentais para avaliar a eficácia e resposta do implante nos testes cíclicos. Este estudo apresentou importantes resultados iniciais em relação ao uso de implante dedicado para fraturas ilíacas em cães.

ANEXO 1 – Normas do periódico “BMC Veterinary Research”

<https://bmcvetres.biomedcentral.com/submission-guidelines/preparing-your-manuscript>