

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS VETERINÁRIAS**

**AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA DE MÉTODOS DE OSTEOSSÍNTESE DE
TIBIOTARSO EM GALINHAS-DOMÉSTICAS (*Gallus gallus domesticus*)**

ANDERSON LUIZ DE CARVALHO

PORTO ALEGRE

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS VETERINÁRIAS

**AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA DE MÉTODOS DE OSTEOSSÍNTESE DE
TIBIOTARSO EM GALINHAS-DOMÉSTICAS (*Gallus gallus domesticus*)**

Autor: Anderson Luiz de Carvalho

Tese apresentada como requisito parcial para a
obtenção do grau de Doutor em Ciências
Veterinárias na área de: Anatomia Animal,
Cirurgia e Farmacologia.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Meller Alievi

Coorientador: Prof. Dr. Márcio Poletto Ferreira

PORTO ALEGRE

2023

CIP - Catalogação na Publicação

de Carvalho, Anderson Luiz
Avaliação biomecânica de métodos de osteossíntese
de tibiotarso em galinhas-domésticas (*Gallus gallus
domesticus*) / Anderson Luiz de Carvalho. -- 2023.
108 f.
Orientador: Marcelo Meller Alievi.

Coorientador: Márcio Poletto Ferreira.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Faculdade de Veterinária, Programa de
Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, Porto Alegre,
BR-RS, 2023.

1. aves. 2. fratura. 3. flexão. 4. torção. 5.
plataforma de força. I. Alievi, Marcelo Meller,
orient. II. Ferreira, Márcio Poletto, coorient. III.
Título.

Anderson Luiz de Carvalho

Avaliação biomecânica de métodos de osteossíntese de tibiotalarso em galinhas-domésticas
(*Gallus gallus domesticus*)

Aprovada em 14 de março de 2023

APROVADO POR:

Prof. Dr. Marcelo Meller Alievi
Orientador e Presidente da Comissão

Prof. Dr. Márcio Poletto Ferreira
Co-orientador

Prof. Dra. Sheila Canevese Rahal
Membro da Comissão

Prof. Dra. Vanessa Couto de Magalhães Ferraz
Membro da Comissão

Prof. Dr. Carlos Rodrigo de Mello Roesler
Membro da Comissão

DEDICATÓRIA

*Às pessoas e animais que fizeram parte da minha
trajetória na conservação da fauna silvestre.*

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Fabiana, pelos 15 anos de amor, companheirismo e apoio, em especial pelos quatro últimos anos de esforço, limitações e desafios durante nossos doutorados.

Aos meus familiares, em especial à minha mãe Matilde, meus sobrinhos Davi e Marcelo, minha afilhada Anna, e meus sogros Regina e Gelson, pela paciência a distância durante esta etapa.

Ao meu orientador, Prof. Marcelo Meller Alievi, pelos ensinamentos, confiança e ativa participação durante todas as etapas experimentais e discussões do projeto.

Ao meu co-orientador, Prof. Márcio Poletto Ferreira por todos os ensinamentos e oportunidades desde que cheguei à UFRGS.

Ao Prof. Carlos Afonso de Castro Beck e Eduardo Raposo Monteiro por todo respeito, e ensinamentos na área de videocirurgia e estatística, respectivamente.

Aos amigos Aires, Inácio, Lucas, Mariana e Roberto pela parceria na rotina do serviço de ortopedia na pré-pandemia e pela oportunidade de participação em seus projetos.

Ao Prof. Jakson Manfredini Vassoler, pela confiança e oportunidade de trabalhar no GMAp e por todas as discussões sobre biomecânica e resultados dos nossos ensaios. À Engenheira Ana Krummenauer Formenton, pelas várias semanas de dedicação aos ensaios e ao processamento dos nossos resultados. Ao técnico de laboratório Rodrigo Rodrigues de Barros, pelo auxílio nos ensaios e em especial, para fabricação do dispositivo de torção.

Ao Prof. Jefferson Fagundes Loss, pela oportunidade de participar do BIOMECH, e pela dedicação para montagem dos protocolos de análise e discussão dos resultados obtidos. À acadêmica Gabriella Lapresa Ribas pelas incontáveis horas de coleta e processamento das análises de locomoção.

Aos amigos Bárbara Correia, Lívia Surita, Luciana Queiroga e Eduardo Ruivo dos Santos pela participação nas etapas cirúrgicas do projeto e compartilhamento de conhecimentos e risadas na rotina de silvestres.

Aos bolsistas Joanna, Vicente e Vilson, pela participação ativa e respeito aos protocolos e nossas galinhas.

Às residentes Victória e Jacqueline e aos alunos que fizeram ou fazem parte da equipe do Preservas pelo auxílio no cuidado com as galinhas. À todos os funcionários do HCV que contribuíram para a execução deste projeto.

À Bisteca, cachorra que nos adotou desde 2013 e que nos fez companhia durante a pandemia, mas que nos deixou precocemente, antes de eu poder concluir este trabalho.

RESUMO

A investigação da eficácia de técnicas de osteossíntese em aves é limitada quando comparada aos animais domésticos e aos humanos. Além disso, o uso de metodologias objetivas, como ensaios biomecânicos e análises de locomoção, é ainda mais escasso nessa classe de animais. Com o intuito de contribuir para esse tema, um primeiro experimento *ex vivo* foi conduzido para comparar parâmetros biomecânicos de tibiotarsos intactos e tibiotarsos com uma falha segmentar diafisária de 5 mm reparados com uma das seguintes técnicas de osteossíntese: placa bloqueada (PB) com dois parafusos por fragmento, placa bloqueada com dois parafusos por fragmento associada a pino intramedular (PB-IM), fixador esquelético externo tipo IA com um pino rosqueado por fragmento ósseo, associado a um pino intramedular liso (*Tie-in 1*), e fixador esquelético externo tipo IA com dois pinos rosqueados por fragmento, associado a um pino intramedular liso (*Tie-in 2*). Os resultados desse estudo demonstraram que os métodos de PB e *Tie-in 2* apresentaram semelhança nos parâmetros de rigidez à torção ou flexão cíclica e resistência à torção ou flexão destrutiva. Com base nesses resultados, um segundo experimento foi realizado, envolvendo 30 galinhas vivas, para testar as técnicas de PB e *Tie-in 2*. As aves foram divididas em um grupo controle e dois grupos de tratamento, cada um com 10 aves, e foram avaliadas durante 73 dias de pós-operatório para coleta de dados cinéticos, cinemáticos e clínicos. Os resultados obtidos indicaram que a técnica de análise em plataforma de força foi eficaz na obtenção de dados de cinéticos em apoio simples, permitindo estabelecer índices de simetria entre as pernas direita e esquerda de cada ave. No grupo controle, observou-se simetria em todos os parâmetros ao longo do tempo. O grupo PB apresentou uma recuperação mais rápida da simetria entre membros em relação aos parâmetros de pico de força vertical e da taxa de propulsão, em comparação com o grupo *Tie-in*, que recuperou a simetria apenas no dia 73, após remoção dos implantes. Quanto aos parâmetros de taxa de frenagem e percentual de apoio simples, não foi possível evidenciar similaridade estatística nos dados do dia 73 em comparação ao pré-operatório, em ambos os grupos de tratamento. Não houve diferença estatística na consolidação óssea entre grupos, porém foi observada não união em 20 e 50% das aves dos grupos *Tie-in* e PB, respectivamente. Em conclusão, a técnica de placa bloqueada apresenta maior simetria ao longo do tempo para os parâmetros de força vertical e taxa de propulsão em relação ao grupo *Tie-in*, mas a simetria taxa de frenagem e do apoio não foi totalmente recuperada aos 73 dias.

Palavras-chave: aves; fratura; flexão; plataforma de força; torção.

ABSTRACT

The investigation into the efficacy of osteosynthesis techniques in avian species remains limited in comparison to domestic animals and humans. Moreover, the utilization of objective methodologies, such as biomechanical assays and gait analysis, is even more constrained within this class of animals. To address this issue, an initial ex vivo experiment was conducted to compare the biomechanical parameters of intact tibiotarsi and tibiotarsi with a 5 mm segmental diaphyseal defect that were repaired using various osteosynthesis techniques: locking plate (LP) with two screws per fragment, locking plate with two screws per fragment combined with intramedullary pin (LP-IP), type 1A external skeletal fixator with one end-threaded positive-profile pin per fragment tied to an intramedullary pin (ESF Tie-in 1), and type 1A external skeletal fixator, with two end-threaded positive-profile pins per fragment tied to an intramedullary pin (ESF Tie-in 2). The findings of this study revealed that the LP and ESF Tie-in 2 methods exhibited similarity in terms of stiffness in non-destructive torsion and bending, and strength in destructive torsion and bending. Based on these outcomes, a subsequent experiment was conducted with 30 live laying hens to compare the LP and ESF Tie-in 2 techniques. The chickens were divided into a control group and two treatment groups, each consisting of ten birds, and were regularly evaluated over a postoperative period of 73 days to collect kinetic, kinematic, and clinical data. The force plate was effective in obtaining kinetic data during single-limb support, which allowed the establishment of symmetry indices between the right and left legs of each individual bird. Notably, the control group displayed symmetry across all parameters over time. Comparatively, the LP group exhibited a more rapid recovery of limb symmetry, particularly regarding peak vertical force and propulsion rate parameters, in contrast to the ESF Tie-in 2 group which achieved symmetry only on day 73 following implant removal. However, in terms of braking rate and percentage of single-limb support parameters, statistical similarity could not be discerned between the treatment groups 'day 73 data and the preoperative measurements. Regarding bone consolidation, no statistically significant differences were observed between groups, although non-union was noted in 20% and 50% of the birds in the Tie-in and LP groups, respectively. In conclusion, the locking plate technique demonstrated greater symmetry over time for vertical force and propulsion rate parameters compared to the ESF Tie-in 2 technique. However, complete restoration of symmetry in terms of braking rate and single-limb support parameter was not achieved at 73 days.

Keywords: avian; bending; fracture; force plate; torsion.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Artigo 1

| | |
|---|----|
| Figura 1: Gabaritos de osteotomia e aplicação de implantes, modelo placa (A) e <i>Tie-in</i> (B).. | 25 |
| Figura 2: Tubos quadrados (A) e cilíndricos (B) para montagem dos corpos de prova e dispositivo de fixação e alinhamento de corpos de prova. | 27 |
| Figura 3: Ensaio cíclico de torção e flexão de quatro pontos..... | 28 |
| Figura 4: Ensaio de torção destrutivo. | 29 |
| Figura 5: Imagens radiográficas nas projeções (A) craniocaudal (Cr-Cd) e (B) mediolateral (Md-Lat) do pós teste de torção e flexão de quatro pontos, em amostras do grupo INT . | 48 |
| Figura 6: Imagens radiográficas nas projeções (A) craniocaudal (Cr-Cd) e (B) mediolateral (Md-Lat) do pós teste de torção e flexão de quatro pontos, em amostras do grupo PB... | 47 |
| Figura 7: Imagens radiográficas nas projeções (A) craniocaudal (Cr-Cd) e (B) mediolateral (Md-Lat) do pós teste de torção e flexão de quatro pontos, em amostras do grupo PB-IM | 48 |
| Figura 8: Imagens radiográficas nas projeções (A) craniocaudal (Cr-Cd) e (B) mediolateral (Md-Lat) do pós teste de torção e flexão de quatro pontos, em amostras do grupo <i>Tie-in</i> 1. | 49 |
| Figura 9: Imagens radiográficas nas projeções (A) craniocaudal (Cr-Cd) e (B) mediolateral (Md-Lat) do pós teste de torção e flexão de quatro pontos, em amostras do grupo <i>Tie-in</i> 2. | 50 |

Artigo 2

| | |
|--|----|
| Figura 1: Sala para alojamento dos animais experimentais..... | 57 |
| Figura 2: Ações de bem-estar animal durante alojamento dos animais experimentais. | 56 |
| Figura 3: Visão do laboratório do Grupo de Investigação da Mecânica do Movimento (BIOMECH – ESEFID – UFRGS)..... | 57 |
| Figura 4: Marcador reflexivo utilizado no experimento..... | 58 |
| Figura 5: Sequência da coleta de dados na plataforma de força..... | 58 |
| Figura 6: Etapas da osteotomia para simulação de uma fratura cominutiva. | 60 |
| Figura 7: Etapas da osteossíntese com o método <i>Tie-in</i> | 61 |
| Figura 8: Etapas da osteossíntese com placa bloqueada (PB). | 62 |

| | |
|--|----|
| Figura 9: Aves no período pós operatório. | 63 |
| Figura 10: Caixas para transporte individualizado de aves dos grupos tratamento..... | 64 |
| Figura 11: Vista da área de criação livre na propriedade rural para onde foram destinados os animais experimentais. | 65 |
| Figura 12: Sequência de imagens radiográficas das aves 20, 21 e 22, do grupo <i>Tie-in</i> , nas projeções mediolateral e craniocaudal, durante o pré-operatório, pós-operatório imediato (dia 1), e demais dias de pós-operatório. | 88 |
| Figura 13: Sequência de imagens radiográficas das aves 23, 24 e 25, do grupo <i>Tie-in</i> , nas projeções mediolateral e craniocaudal, durante o pré-operatório, pós-operatório imediato (dia 1), e demais dias de pós-operatório. | 89 |
| Figura 14: Sequência de imagens radiográficas das aves 26, 27 e 28, do grupo <i>Tie-in</i> , nas projeções mediolateral e craniocaudal, durante o pré-operatório, pós-operatório imediato (dia 1), e demais dias de pós-operatório. | 90 |
| Figura 15: Sequência de imagens radiográficas das aves 29, do grupo <i>Tie-in</i> , nas projeções mediolateral e craniocaudal, durante o pré-operatório, pós-operatório imediato (dia 1), e demais dias de pós-operatório. | 91 |
| Figura 16: Sequência de imagens radiográficas das aves 30, 31 e 32, do grupo PB, nas projeções mediolateral e craniocaudal, durante o pré-operatório, pós-operatório imediato (dia 1), e demais dias de pós-operatório. | 92 |
| Figura 17: Sequência de imagens radiográficas das aves 33, 34 e 35, do grupo PB, nas projeções mediolateral e craniocaudal, durante o pré-operatório, pós-operatório imediato (dia 1), e demais dias de pós-operatório. | 93 |
| Figura 18: Sequência de imagens radiográficas das aves 36, 37 e 38, do grupo PB, nas projeções mediolateral e craniocaudal, durante o pré-operatório, pós-operatório imediato (dia 1), e demais dias de pós-operatório. | 94 |
| Figura 19: Sequência de imagens radiográficas das aves 39, do grupo PB, nas projeções mediolateral e craniocaudal, durante o pré-operatório, pós-operatório imediato (dia 1), e demais dias de pós-operatório. | 95 |
| Figura 20: Exemplos do apoio simples da perna esquerda (A) e direita (B) e apoio duplo (C) em ave do grupo controle, durante a identificação dos picos de força vertical (setas brancas)..... | 96 |
| Figura 21: Exemplos da identificação do início (setas brancas) e final (setas azuis) da frenagem, em curvas das plataformas 2 (curva vermelha) e 3 (curva verde)..... | 97 |

| | |
|--|-----|
| Figura 22: Exemplos da identificação do início (setas brancas) e final (setas azuis) da propulsão, em curvas das plataformas 2 (curva vermelha) e 3 (curva verde). | 98 |
| Figura 23: Exemplos de deslocamento sem apoio do membro operado, onde as curvas de PFV geradas refletem apenas o uso do membro não operado (setas brancas)..... | 99 |
| Figura 24: Imagens da remoção do implante em ave do grupo PB..... | 100 |

LISTA DE TABELAS

Artigo 1

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Média \pm desvio-padrão e intervalo de confiança [IC 95%] da rigidez (Nm/°) ao longo do tempo em tibiotarsos submetidos à ensaio cíclico de torção..... | 32 |
| Tabela 2: Média \pm desvio-padrão e intervalo de confiança [IC 95%] do torque máximo (Nm) e rotação máxima (°) de amostras submetidas à ensaio destrutivo de torção..... | 32 |
| Tabela 3: Média \pm desvio-padrão e intervalo de confiança [IC 95%] da rigidez (N/mm) ao longo do tempo em tibiotarsos submetidos à ensaio cíclico de flexão de quatro pontos. . | 33 |
| Tabela 4: Média \pm desvio-padrão e intervalo de confiança [IC 95%] da deflexão máxima (mm), força máxima de flexão (N) e limite de escoamento (N) de amostras submetidas à ensaio destrutivo de flexão de quatro pontos..... | 34 |
| Tabela 5: Perfil das fraturas em amostras submetidas ao ensaio de torção..... | 35 |
| Tabela 6: Perfil das fraturas em amostras submetidas ao ensaio de flexão de quatro pontos. . | 36 |

Artigo 2

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Média \pm desvio-padrão e intervalo de confiança [IC 95%] do pico de força vertical (%PC) da perna esquerda e direita, entre aves dos grupos controle, <i>Tie-in</i> e PB, no conjunto de todos os momentos avaliados. | 67 |
| Tabela 2: Média \pm desvio-padrão e intervalo de confiança [IC 95%] do índice de simetria entre a perna esquerda e direita para o parâmetro de PFV..... | 68 |
| Tabela 3: Média \pm desvio-padrão e intervalo de confiança [IC 95%] da taxa de frenagem (%PC/s) da perna esquerda e direita, entre aves dos grupos controle, <i>Tie-in</i> e PB, no conjunto de todos os momentos avaliados. | 69 |
| Tabela 4: Índice de simetria entre a perna esquerda e direita para o parâmetro cinético de taxa de frenagem. | 69 |
| Tabela 5: Média \pm desvio-padrão e intervalo de confiança [IC 95%] da taxa de propulsão (%PC/s) da perna esquerda e direita, entre aves dos grupos controle, fixador e placa, no conjunto de todos os momentos avaliados. | 70 |
| Tabela 6: Índice de simetria entre a perna esquerda e direita para o parâmetro cinético de taxa de propulsão..... | 70 |
| Tabela 7: Percentual médio \pm desvio-padrão e intervalo de confiança [IC 95%] do tempo de apoio simples da perna esquerda e direita, entre aves dos grupos controle, <i>Tie-in</i> e PB, no conjunto de todos os momentos avaliados. | 71 |

| | |
|--|----|
| Tabela 8: Índice de simetria entre a perna esquerda e direita para o parâmetro de apoio simples..... | 72 |
| Tabela 9: Média \pm desvio-padrão e intervalo de confiança [IC 95%] da velocidade (m/s) entre aves dos grupos controle, <i>Tie-in</i> e PB, no conjunto de todos os dias de avaliação. | 72 |
| Tabela 10: Média \pm desvio-padrão e intervalo de confiança [IC 95%] da velocidade (m/s) entre aves dos grupos controle, <i>Tie-in</i> e PB, nos diferentes dias de avaliação..... | 73 |
| Tabela 11: Médias da massa corporal (kg) de animais dos grupos controle, <i>Tie-in</i> e PB nos diferentes momentos avaliados..... | 74 |
| Tabela 12: Mediana e [média; mínimo-máximo] do grau de consolidação óssea segundo escala RUST (Radiographic Union Score for Tibial Fractures) nas corticais cranial, caudal, lateral e medial entre aves dos grupos <i>Tie-in</i> e PB, nos diferentes dias de avaliação. | 75 |
| Tabela 13: Tipo e frequência de complicações menores observadas entre aves dos grupos <i>Tie-in</i> e placa..... | 76 |
| Tabela 14: Média \pm desvio-padrão [erro padrão da média] de medidas ósseas (em mm) de galinhas do grupo <i>Tie-in</i> e grupo PB no exame radiográfico pré-cirúrgico. | 77 |
| Tabela 15: Mediana [média; mínimo-máximo] do tempo cirúrgico, em minutos, entre etapas no grupo <i>Tie-in</i> e PB..... | 77 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------------------------|--|
| <i>%ApoioDir</i> | percentual de apoio da perna direita |
| <i>%ApoioEsq</i> | percentual de apoio da perna esquerda |
| 3D | tridimensional |
| ANOVA | Análise de variância |
| ASTM | <i>American Society for Testing and Materials</i> |
| BID | duas vezes ao dia |
| BIOMECH | Grupo de Investigação da Mecânica do Movimento da UFRGS |
| CEUA | Comissão de Ética no Uso de Animais |
| Cr-Cd | craniocaudal |
| Desloc. _{máx} | deslocamento máximo |
| ESEFID | Escola de Educação Física, Fisioterapia e Dança da UFRGS |
| FAVET | Faculdade de Veterinária da UFRGS |
| FEE | fixador esquelético externo |
| FEEESA | <i>Fixateur Externe du Service de Santé des Armées</i> |
| $F_{máx}$ | força máxima |
| GMAp | Grupo de Mecânica Aplicada da UFRGS |
| HCV | Hospital de Clínicas Veterinárias |
| Hz | Hertz |
| IC | intervalo de confiança |
| IM | intramuscular |
| INT | intacto |
| IS | índice de simetria |
| IS-Fren | índice de simetria da frenagem |
| IS-FV | índice de simetria da força vertical |
| IS-Prop | índice de simetria da propulsão |
| kg | quilograma |
| LCCr | ruptura do ligamento cruzado cranial |
| máx | máximo |
| Md-Lat | Mediolateral |
| mg | miligrama |
| min | mínimo |

| | |
|--------------------|--|
| mm | milímetro |
| N | Newton |
| Nm | Newton-metro |
| PB | placa bloqueada |
| PB-IM | placa bloqueada associada à pino intramedular |
| PC | peso corporal |
| PFV | pico de força vertical |
| PMMA | polimetilmetacrilado |
| r | raio |
| Rot _{máx} | Rotação máxima |
| RUST | <i>Radiographic Union Score for Tibial fractures</i> |
| SID | uma vez ao dia |
| $T(Nm)$ | Torque (Newton-metro) |
| TFen | taxa de frenagem |
| TID | três vezes ao dia |
| Tie-in | Fixador esquelético externo tipo IA, associado à pino intramedular |
| TPLO | osteotomia de nivelamento do platô tibial |
| TProp | Taxa de propulsão |
| UFRGS | Universidade Federal do Rio Grande do Sul |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|------------------|------------------|
| % | por cento |
| Ø | diâmetro |
| Ø _{ext} | diâmetro externo |
| π | Pi |
| °C | graus Celsius |

SUMÁRIO

| | | |
|---|--|-----|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 17 |
| 2 | ARTIGO 1 | 21 |
| | Comparação, em ensaios cíclicos e destrutivos, de quatro técnicas de osteossíntese de tibiotarso em galinhas-domésticas adultas (<i>Gallus gallus domesticus</i>)..... | 21 |
| 3 | ARTIGO 2 | 52 |
| | Avaliação cinética, cinemática e clínica de dois métodos de osteossíntese em tibiotarso de galinhas-domésticas (<i>Gallus gallus domesticus</i>)..... | 52 |
| 4 | CONCLUSÕES | 101 |
| | REFERÊNCIAS | 102 |
| | ANEXO: Carta de aprovação CEUA | 108 |

1 INTRODUÇÃO

Aves são prestadoras de serviços ambientais fundamentais ao equilíbrio da vida no planeta e ao desenvolvimento humano (WHELAN, 2008). Apesar disto, diferentes situações de conflito com atividades humanas foram descritas para estas espécies (WOODS *et al.*, 2003; COFFIN, 2007; OLIVEIRA e DA SILVA, 2012; STEIL, DÜPONT e LOBO, 2016, DA ROCHA VILELA *et al.*, 2016; SANTOS *et al.*, 2017), com especial preocupação em naquelas ameaçadas de extinção.

A maioria dos conflitos resulta em óbito; entretanto uma parcela dos animais é encaminhada para atendimento veterinário e estudos retrospectivos apresentaram o percentual de lesões traumáticas, como as ortopédicas, nestes indivíduos (SANTOS *et al.*, 2008; CASTRO *et al.*, 2013). De Souza (2016), observou que 58,7% dos atendimentos de aves silvestres em um hospital veterinário envolviam afecções ortopédicas e destas, 16,6% foram fraturas de tibiotarso. Aves de vida livre frequentemente apresentam fraturas em membros torácicos, enquanto que as fraturas em membros pélvicos estão mais relacionadas à animais de cativeiro, principalmente em aves utilizadas em falcoaria (HARCOURT-BROWN, 2002). Nestas, as fraturas de tibiotarso são mais comuns e ocorrem frequentemente entre o terço proximal e médio deste osso (FORBES, 1998).

Historicamente, pouco material científico foi disponibilizado com descrição de técnicas cirúrgicas ortopédicas em aves, porém avanços recentes na cirurgia de outras espécies têm sido extrapolados, com ou sem adaptações, para procedimentos ortopédicos nesta classe (CARRASCO, 2019).

A característica de ossos com cortical óssea fina e canal medular grande, geram limitações no processo de reparo de fraturas de aves, como a capacidade destes indivíduos de sustentar o peso de alguns implantes (BENNET e KUZMA, 1992). A tolerância do paciente com o implante, o nível de atividade e necessidades futuras de uso do membro também devem ser considerados na escolha da técnica (MARTIN e RITCHIE, 1994).

Diferentes métodos de osteossíntese estão descritos para o reparo de fraturas de tibiotarso, cada qual com indicações e limitações. Destes, a associação de um fixador externo tipo IA com um pino intramedular (*Tie-in*) é amplamente utilizada por manter os fragmentos ósseos melhor alinhados e proporcionar um conjunto mais resistente em comparação com os fixadores esqueléticos externos (HARCOURT-BROWN, 2002). A técnica de *Tie-in* possui

vantagens como o baixo custo de insumos, adaptabilidade a pacientes de diferentes tamanhos e aplicação sem muitos equipamentos especializados, além de facilidade na remoção completa após consolidação do osso (REDIG, 2000). Bueno (2015) citou que os fixadores *Tie-in* são também tolerados por aves de rapina, o que é uma característica desejável durante o processo de recuperação pós-cirúrgica.

No *Tie-in*, o travamento dos pinos pode ser feito com barras de polimetilmetacrilado (PMMA), barras de alumínio ou fibra de carbono e até sistemas específicos delicados como o sistema *Fixateur Externe du Service de Santé des Armées* (FESSA). Nestes fixadores é importante evitar a inserção dos pinos transversais em áreas de grande massa muscular, já que estas geram maior desconforto ao paciente e estão associadas à perda da fixação implante-osso em decorrência de movimentação excessiva (POLLOCK, 2002).

O uso de placas metálicas para estabilização de fraturas de ossos aves é ainda limitado em comparação com esta técnica em mamíferos. O uso de placas de compressão dinâmica (DAVIDSON *et al.*, 2005; GULL *et al.*, 2012), adaptação de placas para osteossíntese da face humana (GOUVÊA *et al.*, 2011), placas bloqueadas (SLUNSKY *et al.*, 2018) e o uso de placa bloqueada como fixador externo (MONTGOMERY *et al.*, 2011) já foram objeto de investigação ou relato de caso. Dentre as vantagens da técnica estão, além do adequado controle das forças que agem sobre o osso, inclui-se a maior tolerância do paciente e a menor necessidade de cuidados pós-operatórios (MARTIN e RITCHIE, 1994). Desvantagens incluem os maiores custos de equipamentos, maior treinamento para sua adequada aplicação, maior tempo anestésico, maior necessidade de manipulação do foco de fratura e a possibilidade de condução térmica de placas em regiões do corpo com limitada cobertura de tecidos moles (MARTIN e RITCHIE, 1994). A remoção de placas metálicas após consolidação é necessária caso problemas sejam observados, ou em aves que retornarão à natureza (REDIG e PONDER, 2015).

A velocidade de consolidação óssea é influenciada por fatores como localização, tipo de fratura, grau de estabilidade, vascularização, presença de infecção e idade do paciente (SANDE, 1999). O acompanhamento radiográfico no pós-operatório imediato, e projeções adicionais 10 dias após o procedimento, e a cada 2 ou 4 semanas é importante no monitoramento da consolidação óssea, a depender da localização da fratura e da espécie envolvida (POLLOCK, 2002).

Em cães e gatos é desejável que o acompanhamento radiográfico da consolidação óssea ocorra a partir da análise de vários aspectos, como os abordados por Langley-Hobbs (2003) pelo método seis A's (aposição, alinhamento, angulação, aparato, atividade e

arquitetura). Em humanos, Whelan *et al.* (2010) propuseram um método específico para avaliação da consolidação óssea de tíbias tratadas com fixação intramedular, o escore RUST (*Radiographic Union Score for Tibial fractures*). O escore, com pontuação mínima de quatro e máxima de 12 pontos, é obtido a partir da soma de escores nas corticais avaliadas (cranial, caudal, lateral e medial) em radiografias na projeção mediolateral e craniocaudal.

No desenvolvimento de técnicas cirúrgicas, testes mecânicos podem auxiliar na predição da aplicabilidade clínica e resultado (DARROW *et al.*, 2017). Ossos podem ser armazenados sob congelamento até a execução dos testes, com efeito pequeno ou insignificante nas propriedades mecânicas (STRÖMBERG e DALÉN, 1976; PANJABI *et al.*, 1985); entretanto é necessário que estejam sempre embalados com gaze embebida em solução de NaCl 0,9% para evitar ressecamento (TURNER e BURR, 1993). Durante o ensaio, fatores como direção e velocidade de aplicação da força, e grau de umidade do osso analisado podem ter efeito sobre os parâmetros mensurados (CURREY, 2002).

Dentre os parâmetros mecânicos obtidos em estudos com implantes, a rigidez é um indicativo da estabilidade ou menor deslocamento relativo no foco de fratura, enquanto os parâmetros de resistência, como força máxima à flexão ou torque máximo, referem-se à capacidade do conjunto osso-implante em suportar maiores cargas. Nas técnicas de ensaio mecânico, a aplicação de cargas cíclicas dentro de limites fisiológicos pode simular de maneira mais adequada o que ocorre em condições clínicas (VAN WETTERE *et al.*, 2009a). Segundo Jepsen *et al.*, (2015), o método de aplicação da carga deve refletir cargas funcionais ou clínicas do osso de interesse. O tibiotarso de galinhas é sujeito as forças de flexão e torção durante a fase de suporte da passada (BIEWENER *et al.*, 1986).

Existem poucas publicações a respeito de testes biomecânicos em ossos de aves (DARROW *et al.*, 2017), e os métodos de osteossíntese foram estudados principalmente em ossos da asa (VAN WETTERE *et al.*, 2009b; DARROW *et al.*, 2017; DARROW *et al.*, 2019), ou com modelos ósseos plásticos (VAN WETTERE *et al.*, 2009a, HERSH-BOYLE *et al.*, 2020). Até o momento, apenas dois estudos foram conduzidos com foco no tibiotarso de búteos-da-cauda-vermelha (*Buteo jamaicensis*), ao utilizar ossos intactos (KERRIGAN *et al.*, 2018) ou sintéticos (HERSH-BOYLE *et al.*, 2020).

Outro método de avaliação de técnicas cirúrgicas é a partir de análises de locomoção, como as executadas por Hoelzler *et al.* (2004) em cães ou por Kröger *et al.*, (2022) em humanos. Estudos com análise de locomoção são mais comuns em humanos do que em animais. Nestes últimos, estudos com cães (HORTSTMAN *et al.*, 2004; LASCELLES *et al.*, 2006), cavalos (ISHIHARA *et al.*, 2009; OOSTERLINCK *et al.*, 2009) e aves de produção

(REITER e BESSEI, 1997; CORR, McCORQUODALE e GENTLE, 1998; COOR *et al.*, 2003; NÄÄS *et al.*, 2010; PAXTON *et al.*, 2013) são mais frequentes. No entanto, análises comparativas já foram conduzidas entre diferentes espécies de aves (CAPLEN *et al.*, 2012; DUGGAN, HOCKING e CLEMENTS, 2016), inclusive silvestres (SHELDON *et al.*, 2019a; SHELDON *et al.*, 2019b).

Análises de locomoção com plataforma de força são um método objetivo para avaliar a função do membro (VOSS *et al.*, 2008), assim como plataformas de pressão (HORSTMANN *et al.*, 2004). Nestas metodologias, os parâmetros podem ser comparados entre pernas, a fim de gerar índices de simetria; na marcha humana, assimetria é descrita como uma diferença nos parâmetros cinéticos ou cinemáticos entre o membro direito e o esquerdo (Zifchock *et al.* 2006). Uma diferença percentual entre membros pode indicar o grau de assimetria (Robinson *et al.*, 1987); entretanto, é de se esperar que nem sempre ocorra uma simetria perfeita, como observado por Budsberg *et al.* (1993) em cães saudáveis ao trote e em humanos (Seeley *et al.*, 2008), onde há assimetria funcional associada ao sistema neuromuscular.

Ao considerar a limitada informação sobre o perfil biomecânico de diferentes técnicas para osteossíntese de tibiotarso em galinhas, este trabalho tem por objetivo apresentar os resultados, sob forma de artigo, de dois experimentos correlacionados. O primeiro, visa comparar parâmetros biomecânicos de ossos intactos com ossos ostectomizados submetidos à falha segmentar de 5 mm e reparados com quatro técnicas de osteossíntese de tibiotarso. O segundo artigo, apresenta a comparação de parâmetros de recuperação da locomoção em indivíduos controle com indivíduos submetidos à duas técnicas de osteossíntese para reparo de uma falha segmentar de 5 mm na diáfise proximal do tibiotarso.

2 ARTIGO 1

Comparação, em ensaios cíclicos e destrutivos, de quatro técnicas de osteossíntese de tibiotarso em galinhas-domésticas adultas (*Gallus gallus domesticus*)

Resumo

Objetivo: comparar parâmetros biomecânicos de quatro técnicas de osteossíntese de tibiotarso

Desenho do estudo: estudo experimental ex vivo

Animais: 60 tibiotarsos de 30 galinhas poedeiras adultas

Métodos: Amostras foram alocadas em cinco grupos e submetidas a ensaios cíclicos e destrutivos de torção e de flexão de quatro pontos. Os resultados de tibiotarsos do grupo intacto (INT) foram comparados com os de tibiotarsos com uma falha segmentar diafisária de 5 mm reparados com as seguintes técnicas de osteossíntese: placa bloqueada (PB) com dois parafusos por fragmento; placa bloqueada com dois parafusos por fragmento associada a pino intramedular (PB-IM); fixador esquelético externo tipo IA, com um pino rosqueado por fragmento ósseo, associado à um pino intramedular liso (*Tie-in 1*); e fixador esquelético externo tipo IA, com dois pinos rosqueados por fragmento, associado à um pino intramedular liso (*Tie-in 2*). Com os ensaios cíclicos de torção foi obtida a evolução da rigidez à torção, ao passo que o ensaio destrutivo de torção permitiu obter o torque máximo e a rotação máxima. A evolução da rigidez a flexão foi obtida com o ensaio cíclico de flexão de quatro pontos, enquanto que a deflexão máxima, a força máxima de flexão, e o limite de escoamento foram obtidos com o ensaio destrutivo de flexão. Inspeção visual e radiografias foram utilizados para caracterização do perfil da fratura após os testes destrutivos.

Resultados: O grupo INT mostrou-se mais rígido à torção e ao torque máximo, porém houve similaridade deste com um ou mais grupos para rigidez à flexão e resistência à torção e flexão. Dentre os grupos tratamento, maior frequência de similaridade correu entre os grupos PB e *Tie-in 2*. O grupo *Tie-in 1* apresentou menor rigidez e resistência para a maioria dos parâmetros avaliados.

Conclusões: A equivalência biomecânica entre os grupos PB e *Tie-in 2* sugere que ambos podem ser adequados para osteossíntese de tibiotarso em galinhas adultas.

DADOS INTEGRALMENTE DISPOBILIZADOS NO ARTIGO

“Ex vivo biomechanical comparison of four techniques to tibiotarsus osteosynthesis in adult laying hens (*Gallus gallus domesticus*)”

VETERINARY COMPARATIVE ORTHOPAEDICS AND TRAUMATOLOGY

3 ARTIGO 2

Avaliação cinética, cinemática e clínica de dois métodos de osteossíntese em tibiotarso de galinhas-domésticas (*Gallus gallus domesticus*)

Resumo

Objetivo: comparar parâmetros de locomoção ao longo do tempo e o grau consolidação óssea em galinhas submetidas à dois métodos de reparo de modelo de fratura cominutiva em tibiotarso

Desenho do estudo: estudo experimental *in vivo*

Animais: 30 galinhas poedeiras

Métodos: Parâmetros basais de locomoção foram inicialmente mensurados em 30 galinhas poedeiras adultas não operadas. Estas, foram separadas em um grupo controle (n= 10) e dois grupos cirúrgicos a serem submetidos à reparo de uma falha óssea na diáfise proximal do tibiotarso para simular uma fratura cominutiva. Em um dos grupos cirúrgicos (*Tie-in*) foi utilizado um fixador esquelético externo tipo IA, com dois pinos rosqueados por fragmento, associado à um pino intramedular. No outro grupo (PB) foi utilizada uma placa bloqueada com dois parafusos por fragmento. As aves de ambos os grupos cirúrgicos e indivíduos do grupo controle foram avaliadas, nos dias 1, 4, 8, 11, 15, 22, 29, 50 e 73 em plataforma de força, para mensuração dos dados cinéticos de pico de força vertical (PFV), taxa de frenagem (TFren) e taxa de propulsão (TProp) para as pernas esquerda e direita. Adicionalmente, dados cinemáticos de velocidade e percentual de apoio simples foram obtidos. O índice de simetria entre pernas foi utilizado para os parâmetros cinéticos (IS-FV, IS-Fren e IS-Prop) e o apoio simples (IS-Apoio). A evolução da consolidação óssea ao longo do tempo foi analisada radiograficamente com uma escala de avaliação e o resultado final da recuperação comparado entre grupos.

Resultados: Para o grupo controle, o PFV foi equivalente à 100% do peso corporal (PC) e aves mostraram maior exigência de carga por tempo na TFren (133% PC/s) do que na TProp (75% PC/s). A simetria entre perna esquerda e direita para o grupo controle foi igual a 0 ou próximo à este, o que indica simetria entre pernas para todos os parâmetros avaliados. No grupo *Tie-in* a recuperação dos índices de simetria só ocorreu no dia 73, após remoção dos implantes. Para a IS-FV e IS-Prop, o grupo PB mostrou recuperação precoce em comparação ao *Tie-in*. A escala de consolidação óssea foi similar entre grupos.

DADOS AGUARDANDO PUBLICAÇÃO EM PERIÓDICO

4 CONCLUSÕES

No primeiro experimento (artigo 1), a equivalência biomecânica entre os grupos PB e *Tie-in 2* sugere que ambos podem ser adequados para osteossíntese de tibiotarso em galinhas adultas.

No segundo experimento (artigo 2), concluímos que o grupo PB apresenta maior simetria ao longo do tempo para os parâmetro de força vertical e taxa de propulsão em relação ao grupo *Tie-in*, e que a simetria, taxa de frenagem e do apoio não foram totalmente recuperadas aos 73 dias.

REFERÊNCIAS

- BENNETT, R. A.; KUZMA, A. B. Fracture management in birds. **Journal of Zoo and Wildlife Medicine**, v. 23, n. 1, p. 5-38, 1992.
- BIEWENER, A. A.; SWARTZ, S. M.; BERTRAM, J. E. A. Bone modeling during growth: Dynamic strain equilibrium in the chick tibiotarsus. **Calcified Tissue International**, v. 39, n. 6, p. 390–395, 1986.
- BUDSBERG S. C.; VERSTRAETE, M. C.; SOUTAS-LITTLE, R. W. Force plate analysis of the walking gait in healthy dogs. **Am J Vet Res**, v. 48, p. 915–918, 1987
- BUENO, I.; REDIG, P. T.; RENDAHL, A. K. External skeletal fixator intramedullary pin *Tie-in* for the repair of tibiotarsal fractures in raptors: 37 cases (1995–2011). **Journal of the American Veterinary Medical Association**, v. 247, n. 10, p. 1154-1160, 2015.
- CAPLEN, G.; HOTHERSALL, B.; MURRELL, J. C.; *et al.* Kinematic analysis quantifies Gait abnormalities associated with lameness in broiler chickens and identifies evolutionary gait differences. **PLoS ONE**, v. 7, n. 7, p. 1–11, 2012.
- CARRASCO, D. C. Fracture Management in Avian Species. **Veterinary Clinics of North America - Exotic Animal Practice**, v. 22, n. 2, p. 223–238, 2019.
- CASTRO, P. F.; FANTONI, D. T.; MATERA, E. J. M. Retrospective study of surgical disorders in birds. **Pesquisa Veterinaria Brasileira**, v. 33, n. 5, p. 662–668, 2013.
- COFFIN, A. W. From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. **Journal of Transport Geography**, v. 15, n. 5, p. 396–406, 2007.
- CORR, S. A.; MCCORQUODALE, C. C.; GENTLE, M. J. Gait analysis of poultry. **Research in Veterinary Science**, v. 65, n. 3, p. 233–238, 1998.
- CORR, S. A.; MCCORQUODALE, C. C.; MCGOVERN, R. E.; GENTLE, M. J.; BENNETT, D. Evaluation of ground reaction forces produced by chickens walking on a force plate. **American Journal of Veterinary Research**, v. 64, n. 1, p. 76–82, 2003.
- DA ROCHA VILELA, D. A.; TEIXEIRA, C. P.; HORTA, C. C. R.; LOURA, G. R.; DA SILVA, M. M. Informe técnico: gestão de conflitos com animais silvestres em centros urbanos. SCI-MPMG, 2016.
- DARROW, B. G.; BISKUP, J. J.; WEIGEL, J.P; JONES M. P.; , XIE, X., LIAW P. K., THARPE, J. L.; SHARMA, D. P. A. Ex vivo biomechanical evaluation of pigeon (*Columba livia*) cadaver intact humeri and ostectomized humeri stabilized with caudally

- applied titanium locking plate or stainless steel nonlocking plate constructs. **AJVR**, v. 78, n. 5, p. 570–578, 2017.
- DARROW, B. G.; BISKUP, J. J.; WEIGEL, J.P; JONES M. P.; , XIE, X., LIAW P. K., THARPE, J. L.; SHARMA, D. P. A. Ex vivo biomechanical evaluation of pigeon (*Columba livia*) cadaver intact humeri and ostectomized humeri stabilized with caudally applied titanium locking plate or stainless steel nonlocking plate constructs. **AJVR**, v. 78, n. 5, p. 570–578, 2017.
 - DARROW, B. G.; WEIGEL, J. P.; ACVS, D.; *et al.* Ex vivo biomechanical comparison of titanium locking plate, stainless steel nonlocking plate, and *Tie-in* external fixator applied by a dorsal approach on ostectomized humeri of pigeons (*Columba livia*). **Journal of Avian Medicine and Surgery**, v. 33, n. 1, p. 29-37, 2019.
 - DAVIDSON, J. R.; MITCHELL, M. A.; RAMIREZ, S. Plate fixation of a coracoid fracture in a bald eagle (*Haliaeetus leucocephalus*). **Journal of Avian Medicine and Surgery**, v. 19, n. 4, p. 303–308, 2005.
 - DE SOUZA, A. M. Estudo retrospectivo das afecções cirúrgicas em aves silvestres atendidas no Hospital Veterinário da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE e recobrimento de implante ortopédico em jabuti-piranga (*Chelonoidis carbonaria*). Dissertação (Mestrado em Ciência Veterinária) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, p.90, 2016.
 - DUGGAN, B. M.; HOCKING, P. M.; CLEMENTS, D. N. Gait in ducks (*Anas platyrhynchos*) and chickens (*Gallus gallus*) -Similarities in adaptation to high growth rate. **Biology Open**, v. 5, n. 8, p. 1077–1085, 2016.
 - FORBES, N. A. Avian orthopedics. **Veterinary Quarterly**, v. 20, p. S69–S70, 1998.
 - GOUVÊA, A. S.; ALIEVI, M. M.; NORIEGA, V.; DAL-BÓ, I. S.; PINTO, T. M.; MENEZES, C. L. M.; SILVA, R. B.; DA SILVA, L. M.; VELASQUE, A. G.; PINTO, L. A. T.L; COELHO, A. J. A. Titanium microplates for treatment of tibiotarsus fractures in pigeons. **Ciência Rural**, v. 41, n. 3, p. 476–482, 2011.
 - GULL, J. M.; SAVERAID, T. C.; SZABO, D.; HATT, J. M. Evaluation of three miniplate systems for fracture stabilization in pigeons (*Columba livia*). **Journal of Avian Medicine and Surgery**, v. 26, n. 4, p. 203–212, 2012.
 - HARCOURT-BROWN, N. H. Orthopedic conditions that affect the avian pelvic limb. **Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice**, v. 5, n. 1, p. 49-81, 2002.

- HERSH-BOYLE, R. A.; KAPATKIN, A. S.; GARCIA, T. C.; ROBINSON, D. A.; GUZMAN, D. S. M.; KERRIGAN, S. M.; CHOU, P. Y.; STOVER, S. M. Comparison of torsional properties between a Fixateur Externe du Service de Santé des Armées and an acrylic *Tie-in* external skeletal fixator in a red-tailed hawk (*Buteo jamaicensis*) synthetic tibiotarsal bone model. *AJVR*, v. 81, n. 7, p. 557-564, 2020.
- HOELZLER, M. G.; MILLIS, D. L.; FRANCIS, D. A.; WEIGEL, J. P. Results of arthroscopic versus open arthrotomy for surgical management of cranial cruciate ligament deficiency in dogs. *Veterinary Surgery*, v. 33, n. 2, p. 146–153, 2004.
- HORSTMAN, C. L.; CONZEMIUS, M. G.; EVANS, R.; GORDON, W. J. Assessing the efficacy of perioperative oral carprofen after cranial cruciate surgery using noninvasive, objective pressure platform gait analysis. *Veterinary Surgery*, v. 33, n. 3, p. 286–292, 2004.
- ISHIHARA, A., REED, S.M., RAJALA-SCHULTZ, P.J., ROBERTSON, J.T., BERTONE, A.L. Use of kinetic gait analysis for detection, quantification, and differentiation of hind limb lameness and spinal ataxia in horses. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, v. 234, p. 644–651, 2009.
- JEPSEN, K. J.; SILVA, M. J.; VASHISHTH, D.; GUO, X. E.; VAN DER MEULEN, M. C. H. Establishing biomechanical mechanisms in mouse models: Practical guidelines for systematically evaluating phenotypic changes in the diaphyses of long bones. *Journal of Bone and Mineral Research*, 1. jun. 2015. John Wiley and Sons Inc.
- KERRIGAN, S. M.; KAPATKIN, A. S.; GARCIA, T. C.; ROBINSON, D. A.; GUZMAN, D. S. M.; STOVER, S. M. Torsional and axial compressive properties of tibiotarsal bones of red-tailed hawks (*Buteo jamaicensis*). *American Journal of Veterinary Research*, v. 79, n. 4, p. 388-396, 2018.
- KRÖGER, I.; MÜBIG, J.; BRAND, A.; PÄTZOLD, R.; WACKERLE, H.; KLÖPFER-KRÄMER, I.; AUGAT, P. Recovery of gait and function during the first six months after tibial shaft fractures. *Gait & Posture*, v. 91, p.66-72, 2022.
- LANGLEY-HOBBS, S. Biology and radiological assessment of fracture healing. In *Practice*, v. 25, p. 26-35, 2003.
- LASCELLES, B. D. X.; ROE, S. C.; SMITH, E.; *et al.* Evaluation of a pressure walkway system for measurement of vertical limb forces in clinically normal dogs. *American Journal of Veterinary Research*, v. 67, n. 2, p. 277–282, 2006.

- MARTIN, H. D.; RITCHIE, B. W. Orthopedic surgical techniques. IN: RITCHIE, B. W.; HARRISON, G. J.; HARRISON, L. R. Avian medicine: principles and application. **Wingers Publishing, Lake Worth**, p. 1137-1171, 1994
- MARTIN, H. D.; RITCHIE, B. W. Orthopedic surgical techniques. IN: RITCHIE, B. W.; HARRISON, G. J.; HARRISON, L. R. Avian medicine: principles and application. Wingers Publishing, Lake Worth, p. 1137-1171, 1994
- MONTGOMERY, R. D.; CRANDALL, E.; BELLAH, J. R. Use of a locking compression plate as an external fixator for repair of a tarsometatarsal fracture in a bald eagle (*Haliaeetus leucocephalus*). **Journal of Avian Medicine and Surgery**, v. 25, n. 2, p. 119–125, 2011.
- NÄÄS, I. DE A.; PAZ, I. C. DE L. A.; BARACHO, M. DOS S.; *et al.* Assessing locomotion deficiency in broiler chicken. **Scientia Agricola**, v. 67, n. 2, p. 129–135, 2010.
- OLIVEIRA, D. S.; DA SILVA, V. M. Wild vertebrates run over on BR 158, RS, Brazil. **Biotemas**, v. 25, n. 4, p. 229–235, 2012.
- OOSTERLINCK, M.L.; PILLE, F.; HUPPES, T.; GASTHUYS, F.; BACK, W. Comparison of pressure plate and force plate gait kinetics in sound Warmbloods at walk and trot. **The Veterinary Journal**, v.186, n.3, p. 347-51, 2009.
- PANJABI, M. M.; KRAG, M.; SUMMERS, D.; VIDEMAN, T. Biomechanical time tolerance of fresh cadaveric human spine specimens. **Journal of Orthopaedic Research**, v. 3, n. 3, p. 292–300, 1985.
- PAXTON, H.; DALEY, M. A.; CORR, S. A.; HUTCHINSON, J. R. The gait dynamics of the modern broiler chicken: A cautionary tale of selective breeding. **Journal of Experimental Biology**, v. 216, n. 17, p. 3237–3248, 2013.
- POLLOCK, C. Postoperative management of the exotic animal patient. **Veterinary Clinics of North America - Exotic Animal Practice**, v. 5, n. 1, p. 183–212, 2002.
- POLLOCK, C. Postoperative management of the exotic animal patient. **Veterinary Clinics of North America - Exotic Animal Practice**, v. 5, n. 1, p. 183–212, 2002.
- REDIG, P. T., PONDER, J. Orthopedic surgery: management of orthopedic issues in birds. In: SAMOUR, J. Avian Medicine, 3ed., Mosby, pp. 312-353, 2015
- REDIG, P.T. The use of a hybrid fixator (intramedullary pin-external skeletal fixator) for stabilization of long bone fractures in raptors—a review of 26 cases. In: LUMEIJ, J.T., REMPLE, J. D., REDIG, P. T.: Raptor biomedicine III, Lake Worth, FL, Zoological

- Education Network, 2000.
- REITER, K.; BESSEI, W. Gait analysis in laying hens and broilers with and without leg disorders. **Equine veterinary journal. Supplement**, v. 23, n. 23, p. 110–112, 1997.
 - ROBINSON, R.O.; HERZOG, W.; NIGG, B.M. Use of force platform variables to quantify the effects of chiropractic manipulation on gait symmetry. **Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics**, v. 10, n. 4, p. 172–176, 1987.
 - SANDE R. Radiography of orthopedic trauma and fracture repair. **Vet Clin of North Am Small Anim Pract**, v. 29, p. 1247–1260, 199
 - SANTOS, G. C.; MATUELLA, G. A.; CORAIOLA, A. M.; SILVA, L. C.; LANGE, R. R.; SATIN, E. Diseases of wild birds diagnosed at the Federal University of Parana, Brazil (2003-2007). **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 28, n. 11, p. 565-570, 2008.
 - SANTOS, L. P. S.; DE ABREU, V. F.; DE VASCONCELOS, M. F. Bird mortality due to collisions in glass panes on an important bird area of southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 25, n. 2, p. 90–101, 2017.
 - SEELEY, M. K.; UMBERGER, B. R.; SHAPIRO, R. A test of the functional asymmetry hypothesis in walking. **Gait & Posture**, v. 28, p. 24-28, 2008.
 - SHELDON, J. D.; ADKESSON, M. J.; ALLENDER, M. C.; *et al.* Evaluation of a pressure sensitive walkway for objective gait analysis in normal and arthritic domestic ducks (*Cairina moschata domestica*). **PLoS ONE**, v. 14, n. 7, p. 1–12, 2019a.
 - SHELDON, J. D.; ADKESSON, M. J.; ALLENDER, M. C.; *et al.* Objective gait analysis in humboldt penguins (*Spheniscus humboldti*) using a pressure-sensitive walkway. **Journal of Zoo and Wildlife Medicine**, v. 50, n. 4, p. 910–916, 2020b.
 - SLUNSKY, P.; WEISS, J.; HAAKE, A.; *et al.* Repair of a Tibiotarsal Fracture in a Pomeranian Goose (*Anser anser*) with a Locking Plate. **Journal of Avian Medicine and Surgery**, v. 32, n. 1, p. 50–56, 2018.
 - STEIL, L.; DÜPONT, A.; LOBO, E. A. Native fauna run over on the highway BR 290 (KM 210 to 214), in Pantano Grande Municipality, Southern Brazil. **Caderno de Pesquisa – série Biologia**, v. 28, n. 1, p. 13-23. 2016.
 - STRÖMBERG, L.; DALÉN, N. The influence of freezing on the maximum torque capacity of long bones. **Acta orthopaedica scand**, v. 47, p. 245-256, 1976.
 - TURNER, C. H.; BURR, D. B. **Basic Biomechanical Measurements of Bone: A Tutorial**. 1993.

- VAN WETTERE, A. J.; REDIG, P. T.; WALLACE, L. J.; BOURGEAULT, C. A.; BECHTOLD, J. E. Mechanical evaluation of external skeletal fixator-intramedullary pin *Tie-in* configurations applied to cadaveral humeri from red-tailed Hawks (*Buteo jamaicensis*). *Journal of Avian Medicine and Surgery*, v. 23, n. 4, p. 277-285, 2009b.
- VAN WETTERE, A. J.; WALLACE, L. J.; REDIG, P. T.; BOURGEAULT, C. A.; BECHTOLD, J. E. Mechanical evaluation of various external skeletal fixator-intramedullary pin *Tie-in* configurations using a tubular plastic bone model. *Journal of Avian Medicine and Surgery*, v. 23, n. 4, p. 263-276, 2009a.
- VOSS, K.; DAMUR, D. M.; GUERRERO, T.; HARSSIG, M.; MONTAVON, P. M. Force plate gait analysis to assess limb function after tibial tuberosity advancement in dogs with cranial cruciate ligament disease. ***Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology***, v. 3, p. 243-249, 2008.
- WHELAN, C. J.; WENNY, D. G.; MARQUIS, R. J. Ecosystem services provided by birds. ***Annals of the New York Academy of Sciences***, v. 1134, p. 25–60, 2008.
- WHELAN, D. B.; BHANDARI, M.; STEPHEN, D.; KREDER, H.; MCKEE, M. D.; ZDERO, R.; SCHEMITSCH, E. H. Development of the Radiographic Union Score for Tibial Fractures for the Assessment of Tibial Fracture Healing After Intramedullary Fixation. ***The Journal of Trauma Injury, Infection, and Critical Care***, v. 68, n. 3, p. 629-632, 2010.
- WOODS, M.; MCDONALD, R. A.; HARRIS, S. Predation of wildlife by domestic cats *Felis catus* in Great Britain. ***Mammal Review***, v. 33, n. 2, p. 174–188, 2003.
- ZIFCHOCK, R. A.; DAVIS, I.; HAMILL, J. Kinetic asymmetry in female runners with and without retrospective tibial stress fractures. ***Journal of Biomechanics***, v. 39, p. 2792-2797, 2006.

ANEXO: Carta de aprovação CEUA

| | | | |
|---|--|--|---|
|  | UFRGS UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL | PRÓ-REITORIA DE PESQUISA Comissão De Ética No Uso De Animais |  |
|---|--|--|---|

CARTA DE APROVAÇÃO

Comissão De Ética No Uso De Animais analisou o projeto:

Número: 41357

Título: Avaliação biomecânica de métodos de osteossíntese de tíbio-tarso em galinhas-domésticas (*Gallus gallus domesticus*)

Vigência: 01/10/2021 à 31/08/2023

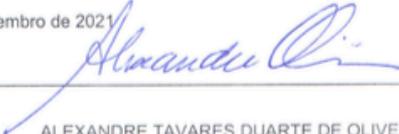
Pesquisadores:

Equipe UFRGS:

MÁRCIO POLETTO FERREIRA - coordenador desde 01/10/2021
MARCELO MELLER ALIEVI - coordenador desde 01/10/2021
ISABELLA TEIXEIRA CAÇAPIETRA PIRES DA SILVA - desde 01/10/2021
Rodrigo Gomes de Souza - desde 01/10/2021
EDUARDO ALMEIDA RUIVO DOS SANTOS - desde 01/10/2021
Aires Santana Rumpel - desde 01/10/2021
Inácio Bernhardt Rovaris - desde 01/10/2021
Anderson Luiz De Carvalho - desde 01/10/2021
JEFFERSON FAGUNDES LOSS - pesquisador desde 01/10/2021
JAKSON MANFREDINI VASSOLER - pesquisador desde 01/10/2021
Ana Barbara Krummenauer Formenton - pesquisador desde 01/10/2021

*Comissão De Ética No Uso De Animais aprovou o mesmo, em reunião realizada em 08/11/2021 - Reunião remota via portal Mconf UFRGS, em seus aspectos éticos e metodológicos, para a utilização de 30 galinhas-domésticas (*Gallus gallus domesticus*) oriundas do produtor rural Felipe Scussiatto (CPF 700156940-20), de acordo com os preceitos das Diretrizes e Normas Nacionais e Internacionais, especialmente a Lei 11.794 de 08 de novembro de 2008, o Decreto 6899 de 15 de julho de 2009, e as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), que disciplinam a produção, manutenção e/ou utilização de animais do filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem) em atividade de ensino ou pesquisa.*

Porto Alegre, Sexta-Feira, 19 de Novembro de 2021



ALEXANDRE TAVARES DUARTE DE OLIVEIRA
Coordenador da comissão de ética