CRISTIANE DA COSTA SALATIEL

ANÁLISE ULTRASSONOGRÁFICA, RADIOGRÁFICA, HISTOPATOLOGICA E BIOMECÂNICA DE ALTERAÇÕES PODAIS EM BOVINOS

LAVRAS-MG

2024

CRISTIANE DA COSTA SALATIEL

ANÁLISE ULTRASSONOGRÁFICA, RADIOGRÁFICA, HISTOPATOLOGICA E BIOMECÂNICA DE ALTERAÇÕES PODAIS EM BOVINOS

Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, área de concentração em clínica cirurgia e patologia veterinária, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Hugo Shisei Toma. UFLA.

Orientador

Profa. Dra. Claudia Dias Monteiro Toma. UNILAVRAS.

Prof. Dr. Djeison Lutier Raymundo. UFLA.

Coorientadores

LAVRAS- MG

2024

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Salatiel, Cristiane Costa.
Análise ultrassonográfica, radiográfica, histopatologica e biomecânica de alterações podais em bovinos / Cristiane Costa Salatiel. - 2024.
71 p.

Orientador(a): Hugo Shisei Toma.
Coorientador(a): Claudia Dias Monteiro Toma, Djeison Lutier Raymundo.
Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2024.
Bibliografia.

1. Lesões nos cascos. 2. Ensaio mecânico. 3. Histologia. I. Toma, Hugo Shisei. II. Toma, Claudia Dias Monteiro. III. Raymundo, Djeison Lutier. IV. Título.

CRISTIANE DA COSTA SALATIEL

ANÁLISE ULTRASSONOGRÁFICA, RADIOGRÁFICA, HISTOPATOLOGICA E BIOMECÂNICA DE ALTERAÇÕES PODAIS EM BOVINOS

Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, área de concentração em clínica cirurgia e patologia veterinária, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 19 de Dezembro de 2024.

Dra. Claudia Dias Monteiro Toma UNILAVRAS

Dr. Luthesco Haddad Lima Chalfun UNILAVRAS

Dr. Geison Morel Nogueira UFU

Prof. Dr. Hugo Shisei Toma. UFLA.

Orientador

LAVRAS- MG

2024

AGRADECIMENTOS

A minha gratidão, acima de tudo, a Deus pela sabedoria, pela vida, pelo discernimento e pelo entendimento e compreensão de fatos que nos fazem pessoas melhores. “Deus nos fez perfeitos e não escolhe os capacitados, capacita os escolhidos” (Albert Einstein).

Aos meus pais, Lucília Salatiel e Derley Salatiel, por acreditar em minhas propostas e defendê-las, tornando-as realidade. Pessoas únicas em minha vida, um exemplo de respeito, honestidade e confiança. Agradeço as minhas irmãs Daiane e Patrícia por todo carinho e apoio.

A meu namorado Yago, pelo carinho, companheirismo e por colaborar de forma positiva em todos os momentos, inclusive aceitando minha ausência.

A todos os amigos que participaram dessa jornada, em especial a Clara que está ao meu lado dês de da graduação e por nunca soltar minha mão, por dividir todas as emoções do mestrado, obrigada pelos conselhos.

Ao meu orientador, Hugo Shisei Toma, por toda paciência, dedicação, ensinamentos e pela presença em todas as etapas da execução do projeto, o senhor foi fundamental para todo o m desenvolvimento, sempre me instigando a evoluir e me tornar uma profissional cada vez melhor. Obrigada por não desistir de mim.

A todas as pessoas que colaboraram com esse projeto, em especial a equipe dos alunos da iniciação científica, e os companheiros da pós-graduação. Obrigada pela paciência, por toda ajuda e dedicação, vocês foram fundamentais para realização desse projeto, pelo meu crescimento pessoal e profissional.

A todos os frigoríficos parceiros que colaboraram com a doação das peças para a execução do projeto, agradecer especialmente a RT Julia pela confiança e disposição em me ajudar.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Veterinárias - UFLA e à Universidade Federal de Lavras.

Á Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES), FAPEMIG pelo apoio financeiro.

Eu sinto uma imensa gratidão a todos que estiveram comigo nessa jornada. Os meus mais sinceros MUITO OBRIGADA!

RESUMO

As doenças podais estão entre as principais causas de prejuízos na bovinocultura, comprometendo o bem-estar dos animais e gerando perdas econômicas significativas para as propriedades. A claudicação, que resulta de alterações no sistema locomotor, pode ser provocada por anomalias congênitas, infecções, condições metabólicas ou traumas. Embora diversas condições que afetam os cascos de bovinos já tenham sido descritas, são raros os estudos que comparam alterações nos tecidos moles, análises histopatológicas das lâminas dérmicas e a resistência dos cascos de animais acometidos por doenças podais. O estudo foi conduzido com um total de cinco grupos, cada um contendo 10 animais, exceto o grupo de cascos em formato de tesoura (TE), que contou com 7 animais. Os grupos foram classificados como: dermatite digital (DD), hiperplasia interdigital (HI), erosão de talão (ET), grupo controle (SA) e cascos em formato de tesoura (TE). O objetivo do estudo foi realizar uma avaliação ultrassonográfica dos tecidos moles, com medições da espessura da queratina, do cório e do tecido adiposo. Além disso, foram realizadas radiografias dos cascos para analisar possíveis alterações ósseas. Após esses exames, as lâminas dérmicas foram coletadas e submetidas à coloração com hematoxilina e eosina (HE). Os cascos também foram submetidos a testes biomecânicos, incluindo um ensaio de tração da muralha e uma análise de compressão da sola. Os resultados foram comparados para identificar diferenças significativas entre os parâmetros avaliados, com o objetivo de determinar se alguma doença causa maior comprometimento nos cascos.

Palavras-chave: Lesões nos cascos; ensaio mecânico ; histologia.

ABSTRACT

Podal diseases are among the main causes of losses in cattle farming, compromising animal welfare and causing significant economic losses to farms. Lameness, which results from alterations in the locomotor system, can be caused by congenital anomalies, infections, metabolic conditions, or trauma. Although various conditions affecting bovine hooves have been described, studies comparing changes in soft tissues, histopathological analyses of dermal laminae, and hoof resistance in animals affected by podal diseases are rare. The study was conducted with five groups, each containing 10 animals, except for the scissor claw group (TE), which included 7 animals. The groups were classified as follows: digital dermatitis (DD), interdigital hyperplasia (HI), heel erosion (ET), control group (SA), and scissor claws (TE). The study aimed to perform an ultrasonographic evaluation of soft tissues, measuring the thickness of the keratin, corium, and adipose tissue. In addition, hoof radiographs were taken to analyze potential bone changes. After these examinations, dermal laminae were collected and stained with hematoxylin and eosin (HE). The hooves were also subjected to biomechanical tests, including a wall tension test and a sole compression analysis. The results were compared to identify significant differences among the evaluated parameters, aiming to determine if any disease causes greater hoof compromise.

Keywords: Hoof injuries; mechanical testing; histology.

INDICADORES DE IMPACTO

As doenças podais representam uma das principais causas de prejuízos na bovinocultura, comprometendo tanto o bem-estar animal quanto a rentabilidade das propriedades rurais. Embora diversas condições que afetam os cascos de bovinos já tenham sido amplamente descritas, são poucos os estudos que integram análises comparativas de tecidos moles, investigações histopatológicas das lâminas dérmicas e testes biomecânicos para avaliar a resistência dos cascos acometidos por doenças podais. O objetivo do estudo foi realizar uma avaliação ultrassonográfica dos tecidos moles, com medições da espessura da queratina, do cório e do tecido adiposo. Além disso, foram realizadas radiografias dos cascos para analisar possíveis alterações ósseas. Após esses exames, as lâminas dérmicas foram coletadas e submetidas à coloração com hematoxilina e eosina (HE). Os cascos também foram submetidos a testes biomecânicos, incluindo um ensaio de tração da muralha e uma análise de compressão da sola. Esse estudo apresenta um impacto tecnológico significativo, pois utiliza tecnologias avançadas, como a ultrassonografia transcuneal e análises biomecânicas dos cascos, para avaliar de forma detalhada as condições de saúde podal dos bovinos. A ultrassonografia transcuneal permite uma visualização não invasiva dos tecidos moles, possibilitando a medição precisa da espessura da queratina, do cório e do tecido adiposo, enquanto as análises biomecânicas avaliam a resistência dos cascos por meio de testes de tração e comprenssão. Essas técnicas inovadoras aprimoram o diagnóstico, aumentam a precisão do tratamento e abrem caminhos para novas abordagens no manejo das doenças podais, modernizando a prática veterinária e trazendo avanços tecnológicos para o setor. Esta pesquisa inovadora proporciona um avanço significativo no entendimento das alterações estruturais e funcionais fornecendo uma compreensão mais aprofundada dos fatores que influenciam a saúde podal em bovinos, contribuindo para o diagnóstico precoce. Os resultados obtidos poderão embasar o desenvolvimento de intervenções preventivas mais eficazes, promovendo avanços na qualidade de vida dos animais, garantindo maior bem-estar e redução significativa de perdas economicas. Um maior entendimento sobre as afecções pode permitir tratamentos mais precisos, diminuindo significativamente o nível de dor dos animais. Como consequência, esses animais têm um desempenho mais eficiente, gerando maior lucratividade para a propriedade. Além disso, é sabido que casos de claudicação frequentemente resultam no descarte precoce dos bovinos ao mitigar essas condições, será possível prolongar a vida produtiva dos animais. Com base no impacto social a redução do sofrimento causado por doenças podais demonstra compromisso com práticas mais éticas, alinhadas às crescentes demandas sociais por respeito aos direitos dos animais.

IMPACT INDICATORS

Podal diseases are among the leading causes of losses in cattle farming, affecting both animal welfare and the profitability of rural properties. Although various conditions impacting bovine hooves have been extensively described, few studies integrate comparative analyses of soft tissues, histopathological investigations of dermal laminae, and biomechanical tests to assess the strength of hooves affected by podal diseases.The aim of this study was to perform an ultrasonographic evaluation of soft tissues, measuring the thickness of keratin, corium, and adipose tissue. Additionally, radiographs of the hooves were taken to analyze possible bone alterations. Following these exams, the dermal laminae were collected and stained with hematoxylin and eosin (HE). The hooves were also subjected to biomechanical tests, including a wall tension test and a sole compression analysis. This study has significant technological

implications, as it employs advanced technologies such as transcuneal ultrasonography and biomechanical analyses of hooves to thoroughly evaluate the podal health of cattle. Transcuneal ultrasonography enables non-invasive visualization of soft tissues, allowing precise measurements of keratin, corium, and adipose tissue thickness, while biomechanical analyses assess hoof strength through tension and compression tests. These innovative techniques enhance diagnosis, increase treatment precision, and pave the way for new approaches to managing podal diseases, modernizing veterinary practices and introducing technological advancements to the field. This pioneering research represents a significant step forward in understanding structural and functional changes, offering deeper insights into the factors influencing podal health in cattle and contributing to early diagnosis. The results obtained can support the development of more effective preventive interventions, promoting improvements in animal quality of life, ensuring greater welfare, and significantly reducing economic losses. A better understanding of these conditions may allow for more precise treatments, significantly decreasing the pain levels experienced by animals. Consequently, these animals perform more efficiently, generating greater profitability for farms. Moreover, it is well-known that lameness often results in the premature culling of cattle; by mitigating these conditions, it will be possible to extend the productive lifespan of the animals. From a social perspective, reducing the suffering caused by podal diseases demonstrates a commitment to more ethical practices, aligned with growing societal demands for respect for animal rights.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Alt	Alteração
C	Grupo Controle
DD	Grupo Dermatite Digital
ECC	Escore de condição corporal
ET	Grupo Erosão de Talão
ICAR	International Committee for Animal Recording).
HE	Hematoxilina/ Eosina
J	Unidade de medida Joule
Mpa	Unidade de medida megapascal
N	Nilton
mm	Milímetros
s	Segundos
SA	Sem Alteração

LISTA DE FIGURAS – CAPÍTULO 2

Figura 1: Imagem ultrassonográfica demonstrando a mensuração das camadas de queratina, cório e coxim digital..... 36

Figura 2: Ultrassonografia da região do bulbo do talão 40

Figura 3: Imagem radiográfica demonstrando a entesopatia do processo extensor (EPE).....42

Figura 4: Laminas dérmicas coradas em HE apresentando graus de proliferação de tecido conjuntivo fibroso..... 44

LISTA DE FIGURA – CAPÍTULO 3

Figura 1: Ilustração dos cascos que foram utilizados no experimento..... 56

Figura 2: Desenho esquemático do modelo em que as amostras dos cascos foram cortadas e ajustadas..... 56

Figura 3: Modelo da garra utilizada na análise de compreensão.....57

Figura 4: Modelo da garra utilizada para o ensaio de tração da muralha..... 57

Figura 5: Resultados das Variáveis biomecânicas analisadas no ensaio de comprenssão da sola.....60

Figura 6: Resultado das variáveis Biomecânicas analisadas no ensaio de tração da muralha..63

LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS – CAPITULO 2

Tabela 1: Análises das distribuições dos dados de todas variáveis analisadas no exame ultrassonográfico..... 39

Tabela 2: Comparações entre os grupos estudados na análise ultrassonográfica da região do bulbo do talão na camada do cório (Teste Dwass-Steel-Crichtlow-Fligner)..... 41

Tabela 3: Frequência de Alterações ósseas encontradas no raio- x.....42

Gráfico 1: Gráfico representando o grau de acometimento das lâminas dérmicas por tecido conjuntivo em cada grupo estudado.....43

LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS – CAPITULO 3

Tabela 1: Estatística descritiva do ensaio de análise de compressão da sola do casco dos grupos estudados em Módulo Yong automático (Mpa)..... 59

Tabela 2: Teste de Normalidade (Shapiro-Wilk) para Variáveis Biomecânicas de Compressão nos Cascos de Bovinos..... 59

Tabela 3: Teste à normalidade (Shapiro-Wilk) de variáveis biomecânicas para tração da muralha do casco.....61

Tabela 4: Apresentação dos resultados da análise de tensão em Máximo de carga dos ensaios de tração e compressão.....63

Tabela 5: Comparação dos resultados de tensão à compressão e tração em máximo de carga (Mpa).....63

Gráfico 1: Tensão à compressão em Máxima de carga (Mpa).....60

Gráfico 2: Deformação à tração em máximo de carga (Mpa).....62

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 14
1 INTRODUÇÃO GERAL 14
2. REFERENCIAL TEÓRICO 17
2.1 Afecções podais 17
2.2 Dermatite digital (DD) 17
2.3 Hiperplasia interdigital (HI) 18
2.4 Erosão de Talão (ET) 18
2.5 Casco em Tesoura(TE) 19
2.6 Exame ultrassonográfico transcuneal 19
2.7 Exame radiográfico 20
2.8 Histologia das lâminas dérmicas 20
2.9 Histopatológia das lâminas dérmicas 21
2.10 Morfologia dos cascos de bovinos 21
2.11 Formação dos Cascos 22
2.12 Estudo de tração e compreensão 22
2.13 Resistencia dos cascos de bovinos 23
REFERÊNCIAS 24
CAPITULO 2 – ARTIGO FORMATADO DE ACORDO COM AS NORMAS DA REVISTA RESEARCH IN VETERINARY SCIENCE 31
AVALIAÇÃO INTEGRADA DE ALTERAÇÕES PODAIS EM BOVINOS: ANÁLISE ULTRASSONOGRÁFICA, RADIOGRÁFICA E HISTOPATOLOGICA 31
RESUMO 31
1 INTRODUÇÃO 33
2 MATERIAL E MÉTODOS 35
2.1 Seleção das Peças Anatômicas e Grupos 35
2.2 Exame ultrassonográfico 36
2.3 Avaliação radiográfica 37
2.4 Histopatologia das lâminas dérmicas 37
2.4.1 Amostragem de tecido 37
2.4.2 Preparação do tecido 38

2.4.3 Coloração em Hematoxilina- Eosina (HE). 38
2.4.4 Leitura das Lâminas coradas em HE..... 39
2.5 Análise Estatísticas 39
3 RESULTADOS..... 40
3.1 Exame Ultrassonográfico..... 40
3.2 Exame Radiográfico..... 42
3.3 Histopatologia 44
4 DISCUSSÃO 45
5 CONCLUSÃO 49
REFERÊNCIAS..... 50
CAPÍTULO 3 ARTIGO FORMATADO DE ACORDO COM AS NORMAS DO JOURNAL OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF BIOMEDICAL MATERIALS 52
ANÁLISE COMPARATIVA DE TRAÇÃO E COMPRESSÃO NOS CASCOS DE BOVINOS: DIFERENÇAS ENTRE ANIMAIS SAUDÁVEIS E COM AFECÇÕES PODAIS 52
RESUMO..... 52
1 INTRODUÇÃO 54
2 MATERIAIS E MÉTODOS 56
2.1 Coleta das Peças anatômicas..... 56
2.2 Preparação das amostras 56
2.3 Ensaio de resistência 57
2.4 Parâmetros analisados no ensaio de compressão pelo Software Bluehill ®..... 59
2.5 Parâmetros analisados no ensaio de tração pelo Software Bluehill ®..... 59
3 ANÁLISE ESTATÍSTICA 59
4 RESULTADOS..... 60
4.1 Resultados das análises de compressão da sola. 60
4.2 Resultados das análises de tração da muralha..... 62
5 DISCUSSÃO 64
REFERÊNCIAS..... 68

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

As afecções podais estão entre os principais problemas de saúde que acometem bovinos, representando um desafio significativo para a produção da pecuária. Essas condições não apenas comprometem o bem-estar dos animais, mas também geram impactos econômicos importantes devido à redução na produtividade, aumento dos custos veterinários, descarte precoce dos animais afetados e reduz a fertilidade (DIAS *et al.,* 2020).

Entre as manifestações mais comuns, destacam-se a claudicação, que é frequentemente associada a dor e dificuldades locomotoras, podendo ser provocada por infecções, traumas, anomalias congênitas ou distúrbios metabólicos (BARBOSA *et al.,* 2020). Em gado de leite, as perdas econômicas causadas pela claudicação estão em terceiro lugar, sendo precedidas pela mastite e problemas reprodutivos (SOARES *et al.,* 2019).

As doenças digitais em bovinos têm-se constituído uma das mais prevalentes afecções, sendo consideradas as maiores causas de dor e desconforto em bovinos. Cerca de 90% das claudicações em bovinos são provenientes de afecções podais (BARBOSA *et al.,* 2016). O acometimento das doenças podais em bovinos possui maior concentração nos membros pélvicos (92%) do que nos membros torácicos (8%) (ALBUQUERQUE, 2023a).

Existem diversas doenças que causam claudicação em bovinos, entre elas dermatite digital, hiperplasia interdigital, erosão de talão e cascos em tesoura. No entanto, a maioria dos estudos disponíveis na literatura se concentra predominantemente na laminite, uma condição amplamente reconhecida por seu impacto na saúde e produtividade dos animais (ALBUQUERQUE, 2023b).

Diante dessa lacuna, surge a necessidade de ampliar as investigações para outras doenças podais, comparando as diferentes alterações estruturais e funcionais que elas causam. Estudos comparativos podem contribuir para uma melhor compreensão das características de cada enfermidade, auxiliando no desenvolvimento de estratégias mais específicas de diagnóstico, manejo e tratamento, além de destacar os impactos únicos de cada doença na locomoção e bem-estar dos bovinos.

A ultrassonografia é uma ferramenta exemplar que auxilia na avaliação de distúrbios musculoesqueléticos, como artrite, tenossinovite, bursite, lesões tendineas e musculares (KOFLER *et al*., 2014). Avaliação das estruturas internas do estojo córneo de bovinos por ultrassom foi descrita inicialmente por (KOFLER *et al.,* 1999). Vendo essa possibilidade de utilização de ultrassom nos membros locomotores de bovinos diversos estudos foram desenvolvidos. No estudo de Bicalho *et al.* (2009), a ultrassonografia foi utilizada para correlacionar a espessura do coxim digital com o escore de condição corporal (ECC) dos animais, demonstrando que um coxim digital mais fino está associado a um ECC mais baixo. Já a pesquisa de Bach *et al.* (2019) realizou a mensuração dos tecidos moles do estojo córneo em animais saudáveis, fornecendo parâmetros de referência importantes.

Esses trabalhos destacam a importância da avaliação por imagem na análise das estruturas internas do casco. No entanto, ainda é necessário ampliar os estudos para incluir animais acometidos por doenças podais, visando comparar a espessura e as características dos tecidos moles do estojo córneo entre animais saudáveis e doentes. Além disso, a investigação de alterações ósseas complementa essas análises, proporcionando uma visão mais abrangente das lesões estruturais e sua relação com o desenvolvimento das doenças podais (LIMA, 2009).

A avaliação histológica das lâminas dérmicas dos cascos de bovinos é amplamente documentada em estudos que analisam as alterações decorrentes de condições patológicas, como as lesões associadas à laminite. Trabalhos como os de Thoefner *et al.* (2005), Mendes *et al.* (2013), Danscher *et al.* (2010) e Marchionatti *et al*. (2020) destacam a importância dessa análise para compreender os efeitos da laminite em bovinos. Em particular, o estudo de Mendes et al. (2013) investigou as alterações histológicas em vacas sem lesões de laminite, contribuindo para o entendimento das condições histopatológicas de animais saudáveis em comparação aos afetados.

No entanto, observa-se que a maioria das pesquisas está direcionada a alterações associadas à laminites. Isso ressalta a relevância de estudos comparativos que explorem as alterações histopatológicas das lâminas dérmicas em diferentes doenças, permitindo ampliar o conhecimento sobre as respostas teciduais a diversos desafios patológicos.

A integridade dos cascos é essencial para a locomoção e o desempenho geral dos bovinos. Sabe-se que os cascos compostos por queratinas, proteínas estruturais, têm como função proteger o estojo córneo de traumas (TOMLINSON *et al.,* 2004). Sabe-se que a parede do casco não pode ser reparada ou remodelada uma vez que esteja queratinizada (WANG *et al.*, 2016), e pode se recuperar parcialmente de certos danos (KASAPI e GOSLINE, 1997).

O estudo das propriedades mecânicas e estruturais dos cascos bovinos, especialmente no contexto de doenças podais, apresenta grande relevância tanto para a ciência veterinária quanto para o setor agropecuário. A literatura existente, como os trabalhos de Clark e Petrie (2006) e Wang *et al*. (2020), fornece informações importantes sobre a tenacidade à fratura e as características anisotrópicas das paredes do casco.

O trabalho de Wang *et al.* (2020) destaca que o aumento da tenacidade à fratura está correlacionado ao teor de umidade, indicando uma dependência das propriedades mecânicas em relação às condições ambientais e fisiológicas. Por outro lado, Clark e Petrie (2006) compararam a tenacidade de cascos saudáveis e fissurados, sem encontrar diferenças significativas. Visto isso, comparar a resistência dos cascos de bovinos saldáveis com demais grupos com afecções podais se torna um estudo de relevância, no qual não é apresentado na literatura.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Afecções podais

As afecções podais são uma das causas principais de claudicação em bovinos (GRIFFITHS *et al.,* 2018). A claudicação causa dor, levando a uma condição debilitante e sofrimento nas vacas afetadas, o que é considerado um sério problema de bem-estar animal (SEIXAS, 2023). As lesões nos cascos geralmente causam dificuldade de locomoção, refletindo em perdas econômicas, como, redução de produção de leite, perda de escore corporal, reduz as taxas de fertilidades e dependendo do grau de comprometimento, leva o animal ao descarte (CUNHA, 2019).

Existem inúmeras doenças podais que afetam bovinos, as lesões são de origem multifatorial, abrangendo fatores ambientais, genéticos, nutricionais e infecciosos (DIONIZIO *et al.,* 2022). Os comprometimentos dos membros podem variar de acordo com o sistema de criação dos animais, as afecções vão comprometer os tecidos moles do estojo córneo, tendo maior prevalência em animais criados em confinamento, especialmente em ambientes com acúmulo de matéria orgânica, umidade excessiva, pisos irregulares (SERRA *et al.,* 2017).

Dentre os agentes infecciosos que se destacam são bactérias do gênero *Treponema spp, Fusobacterium necrophorum e o Dichelobacter nodosus* (ALSAAOD *et al*., 2019). As afecções podais que se destacam no brasil são, dermatite digital, erosão de talão, hiperplasia interdigital, úlcera de sola, doença da linha branca, pododermatite séptica e unhas em saca rolhas (NICOLETTI., 2014).

2.2 Dermatite digital (DD)

A dermatite digital é uma das principais causas de claudicação infecciosa no gado leiteiro, gerando um impacto significativo na produção e bem-estar do animal (GABRIEL FILHO *et al.*, 2023). A DD é uma doença contagiosa, causada por vários microrganismos, com predomínio de bactérias do gênero *Treponema spp. (*CLEGG *et al.,* 2015*).* Bactérias como, o *Fusobacterium necrophorum, Dichelobacter nodosus* e *Porphyromonas levii* também já foram identificadas (Barker *et al.*, 2009; Berry *et al.*, 2012; Gomez *et al.*, 2012).

Caracteriza-se por uma infecção da pele digital, com formação de úlceras na sua forma inicial, que evolui para hiperqueratose ou proliferação crônica (ICAR, 2015). As lesões com aspectos ulcerativos são conhecidas como, doença do morango e localizam-se acima dos talões, mas podem se estender por todos tecidos adjacentes (SILVA *et al.,* 2006). A fase ulcerativa

aguda é a que mais compromete o comportamento do animal, pois o nível de dor é maior, levando a redução na produção de leite e fertilidade (GABRIEL FILHO *et al.*, 2023).

Os animais que são afetados cronicamente pela DD, podem atuar como reservatórios de patógenos, contribuindo para o desenvolvimento de uma doença endêmica no rebanho, o que resulta em descartes involuntários de animais jovens com intuito de erradicar a doença (BIEMANS *et al.*, 2018).

Existem estudos que relatam que o trato gastrointestinal atua como reservatório para treponemas relacionados a DD, dessa forma ambientes com acúmulo de fezes e lama são locais que contribuem com a transmissão da doença (ZINICOLA *et al.*, 2015). Outra fonte de transmissão é por meio de canivetes, rinetas ou outras ferramentas utilizadas no casqueamento dos bovinos (AHLÉN *et al.*, 2022).

2.3 Hiperplasia interdigital (HI)

A hiperplasia interdigital pode ser desencadeada por fatores genéticos, nutricional, manejo ineficiente de casqueamento, e presenças de agentes infecciosos (SILVEIRA et al., 2018). A HI é caracterizada por um crescimento de tecido conjuntivo fibroso entre os dígitos no espaço interdigital anterior (ICAR, 2015). A HI é conhecida popularmente como gabarro, sendo uma afecção podal com alto índice de prevalência em animais que estão submetidos a um manejo intensivo e semi-intensivo (TOLEDO et al., 2023).

A lesão surge devido a irritação crônica na região entre os cascos, ocasionada por condições higiênicas inadequadas e pela abertura excessiva do espaço entre os cascos (SOARES et al., 2019). A patogênese da HI também tem sido associada a animais que são submetidos a pastagem devido a irritação do capim no espaço interdigital e a pisos irregulares (ALSAAOD et al., 2023).

2.4 Erosão de Talão (ET)

O talão é a superfície de amortecimento do peso do animal durante a locomoção, dessa forma, a ET irá comprometer a absorção de impacto do animal sobre a superfície, predispondo a lesões nos cascos (BORDERAS *et al.*, 2004). A ET caracteriza-se pela lesão em forma de "V", que pode se estender ao cório (ICAR, 2015). Geralmente apresenta coloração escura podendo ocorrer a retração do talão, que pode se desprender e propiciar a penetração de sujidades agravando a enfermidade (ICAR, 2015). O *Dichelobacter nodosus*, é a principal agente bacteriano envolvido na ET, sendo o mesmo da Dermatite Interdigital, podemos também ter outras bactérias secundárias (AFONSO *et al.*, 2021)

A erosão de talão acomete principalmente animais que ficam confinados em estábulos que possuem pisos abrasivos, como exemplo, concreto. Um ambiente úmido e com acúmulo de matéria orgânica compromete a dureza do casco e predispõe a ocorrência de erosão do talão (BORDERAS *et al.*, 2004).

2.5 Casco em Tesoura

O casco em tesoura refere-se a uma deformidade nos cascos dos bovinos, caracterizada por um crescimento anormal em que as bordas do casco se cruzam ou adquirem uma forma semelhante a uma tesoura (ICAR, 2015). Desequilíbrios nutricionais, como dietas ricas em carboidratos fermentáveis e pobres em fibra efetiva, são apontados como causas importantes de alterações nos cascos bovinos, incluindo deformidades como o casco em tesoura (QUEIROZ *et al.*, 2018).

Essa deformidade prejudica a locomoção, levando a ocorrência de dor e comprometimento do bem estar animal, além dos impactos econômicos, como redução da produtividade e necessidade de descarte precoce (DIAS *et al.*, 2020).

2.6 Exame ultrassonográfico transcuneal

A ultrassonografia é amplamente reconhecida como um método eficiente para a avaliação de estruturas internas de difícil acesso, incluindo os cascos de bovinos. No estudo de Kofler et al. (1999), para o exame ultrassonográfico os cascos foram examinados em planos longitudinais utilizando um transdutor linear de 7,5 MHz. Nesse estudo foi validado o método de ultrassonografia no estojo córneo de bovinos, no qual comparou medidas obtidas por ultrassonografia em modo B com medidas anatômicas dos cascos, os resultados mostraram que as imagens ultrassonográficas fornecem uma representação precisa tanto do estojo córneo queratinizado quanto dos tecidos moles subjacentes (KOFLER *et al.*, 1999).

Após essa descoberta por Kofler et al. (1999), outras pesquisas de ultrassom transcuneal foram desenvolvidas. De acordo com Van Amstel et al. (2004), a espessura da camada de tecido mole do estojo córneo varia entre os dígitos posteriores de bovinos, observaram que o digito posterior lateral apresenta uma camada significativamente mais espessa (4,29 mm) em comparação com o digito posterior medial (3,92 mm). Já Bicalho et al. (2009) apontaram uma relação direta entre o escore de condição corporal (ECC) dos animais e a espessura do coxim digital, que é composto principalmente por tecido adiposo. Essa correlação sugere que animais com menor ECC podem apresentar coxins digitais mais finos, aumentando a suscetibilidade a lesões nos cascos. Corroborando essa hipótese, o estudo de Newsome et al. (2017) investigou

a associação entre a saúde do casco e as características dos coxins digitais em vacas leiteiras. Os pesquisadores constataram que vacas que desenvolveram úlceras de sola ou hemorragias graves na sola apresentavam coxins digitais mais finos, o que poderia predispor a tais lesões. Contudo, quando uma úlcera de sola estava presente, os tecidos moles da garra afetada mostraram-se espessados, possivelmente devido a maior vascularização, edema ou inflamação nos tecidos subjacentes (NEWSOME *et al.*, 2017).

2.7 Exame radiográfico

A radiografia é amplamente reconhecida como uma ferramenta valiosa na avaliação dos cascos de bovinos, especialmente em casos que exigem uma análise detalhada de estruturas internas. Segundo Lima et al. (2009), esse método é particularmente útil em situações em que há suspeita de lesões, alterações ósseas ou deformidades que não podem ser identificadas apenas pelo exame clínico externo.

Dentre as alterações observadas em exames radiográficos de bovinos que apresentam claudicação, são descritas na literatura, doenças degenerativas articulares, osteíte, periostite, artrite séptica e osteomielite (BORGES et al., 2006). Newsome et al. (2016) conduziram exames radiográficos do estojo córneo de bovinos, com foco no estudo do desenvolvimento ósseo, conhecido como entesopatia, na falange distal de vacas leiteiras, fornecendo informações detalhadas sobre a relação entre alterações ósseas e histórico de claudicação. Os pesquisadores quantificaram o crescimento ósseo anormal e observaram que ele era mais pronunciado em vacas que apresentavam histórico de claudicação associada a lesões crônicas nos cascos.

2.8 Histologia das lâminas dérmicas

Estruturalmente os cascos dos bovinos são compostos por estruturas que se relacionam, buscando a manutenção, saúde e equilíbrio dos três tecidos constituintes, que são, epiderme, derme e o tecido subcutâneo (TULIO, 2006). A epiderme é a porção externa queratinizada dos dígitos, é uma camada avascular, sua nutrição é realizada por difusão a partir da derme (ALBUQUERQUE, 2023). A epiderme é composta por quatro camadas celulares, estrato basal, estrato espinhoso, estrato granuloso e estrato córneo. O tecido córneo é gerado pela queratinização e cornificação de células geradas pela divisão celular na camada basal do tecido epidérmico (TOMLINSON *et al.*, 2004).

A derme, também é conhecida como cório, sendo formada por tecido conjuntivo contendo vasos sanguíneos e nervos (ALBUQUERQUE, 2023). As principais proteínas fibrosas da derme são colágeno e elastina. Dessa camada, nutrientes e hormônios são fornecidos

ao estrato basal, ou camada germinativa, para a produção de células epidérmicas (TOMLINSON *et al.,* 2004).

Na região da sola, a derme apresenta projeções chamadas papilas dérmicas, que se projetam em direção à epiderme, aumentando sua superfície de contato com o epitélio (ALBUQUERQUE, 2023). Essas estruturas facilitam a difusão de nutrientes da derme para a epiderme. Na região parietal dos cascos, as projeções dérmicas originam as lamelas dérmicas, que se intercalam entre as lamelas epidérmicas (TOMLINSON *et al.,* 2004).

2.9 Histopatologia das lâminas dérmicas

A histopatologia das lâminas dérmicas dos bovinos é essencial para entender as alterações microscópicas que ocorrem em casos de doenças podais. As lâminas dérmicas, que são estruturas compostas principalmente por tecido conectivo, desempenham papel fundamental na fixação do casco ao osso subjacente, além de absorver o impacto e distribuir o peso corporal (DANSCHER et al., 2010). Quando ocorrem lesões ou inflamações nas lâminas dérmicas, observa-se uma série de alterações patológicas que comprometem a integridade estrutural e funcional dessa área, resultando em dor, claudicação e, muitas vezes, queda no desempenho produtivo do animal (PUERTO, et al 2021).

Os estudos histopatológicos das lâminas dérmicas de bovinos existentes na literatura são mais voltados para bovinos com laminites (MENDES et al.,2013; DANSCHER et al.,2010; SOUZA et al.,2020). No trabalho de Sousa et al. (2020) na análise histológica confirma a presença de laminite pela presença de dilatação de vasos linfáticos, vacuolização de células epidérmicas, degeneração e necrose epidérmica, além de descolamento de lâminas dérmicas e epidérmicas, ondulação da membrana basal, proliferação capilar e infiltrado linfocitário moderado.

2.10 Morfologia dos cascos de bovinos

O conhecimento sobre a anatomia e a fisiologia do membro distal de bovinos é essencial para compreender e prevenir lesões podais. O conjunto de estruturas que formam o membro locomotor distal tem como função absorver o impacto, promovendo suporte e amortecimento do peso do animal (GARGANO, 2020).

Os cascos são divididos em dígitos mediais e laterais. Nos membros torácicos dos bovinos, a distribuição de peso entre os dois dígitos é relativamente igual, mas, nos

membros pélvicos, ocorre uma sobrecarga principalmente no dígito lateral (TAVARES, 2018).

O estojo córneo é dividido em região coronária, muralha, sola e talão (VIANA *et al*., 2018). A região coronária é a parte mais dorsal dos dígitos, onde ocorre a transição entre a pele e o estojo córneo (GARGANO, 2020). A muralha, uma das estruturas mais rígidas do casco, é composta principalmente de queratina (GUIMARÃES *et al.,* 2018). A sola, por sua vez, é a porção que entra em contato direto com a superfície do ambiente, sendo que sua extremidade mais larga dá origem aos talões (GARGANO, 2020). A adesão entre a muralha e a sola é feita por meio da linha branca (GUIMARÃES *et al.,* 2018).

2.11 Formação dos Cascos

As queratinas são proteínas estruturais que fornecem a base estrutural para os cascos de bovinos, com a função de proteger o estojo córneo contra fatores ambientais (TOMLINSON *et al*., 2004). A formação de queratina ocorre na epiderme por meio de um processo de diferenciação celular, que transforma células epidérmicas altamente funcionais em células cornificadas (TOMLINSON *et al.,* 2004). A derme forma uma camada de tecido conjuntivo que dá suporte à epiderme, sendo composta por vasos sanguíneos e nervos. É essa camada dérmica que direciona o processo de diferenciação dentro da epiderme (TOMLINSON *et al*., 2004). Assim, quando há comprometimento no suprimento de nutrientes, ocorre a formação de um tecido córneo mais frágil (TAVARES, 2018).

A epiderme consiste em quatro camadas distintas de células: o estrato basal, o estrato espinhoso e o estrato granuloso (TOMLINSON *et al.,* 2004). Nessas camadas ocorre o processo de diferenciação celular, conhecido como cornificação, que transforma células epidérmicas vivas em células epidérmicas mortas (TOMLINSON *et al.,* 2004). As células responsáveis por essa síntese são denominadas queratinócitos, que produzem, em seu interior, filamentos de queratina. Essa proteína estrutural, composta por vinte aminoácidos e insolúvel em água, confere rigidez e impermeabilidade à epiderme (TAVARES, 2018).

2.12 Estudo de tração e compressão

Através de métodos experimentais, podemos determinar a capacidade de um corpo suportar uma deformação. Dessa forma, o ensaio de tração e compressão é realizado a fim

de mensurar a capacidade resistiva de um material, por meio da análise da tensão normal média e da deformação normal média (HIBBELER, 2008; BEER *et al*., 2011).

A tração é um tipo de força aplicada sobre um corpo com o sentido voltado para a sua parte externa. Um esforço de tração causa a reorganização dos átomos, de modo que o corpo sendo tracionado se alongue no sentido da força aplicada (MASCIA, 2020). Do ensaio de tração, podem ser extraídas diversas propriedades, incluindo: resistência à tração, deformação na ruptura, módulo de elasticidade, módulo secante, alongamento no escoamento e ruptura (CARUSO, 2015).

O ensaio de compressão é um método de teste utilizado para determinar a resposta de um material quando submetido a forças de compressão. Esse ensaio envolve a aplicação controlada de carga em uma amostra do material, resultando na redução do seu volume. É uma técnica amplamente utilizada para avaliar a resistência do material à compressão e sua capacidade de suportar cargas nessa direção (CARUSO, 2015).

2.13 Resistência dos cascos de bovinos

Grande parte dos materiais biológicos é multifuncional, e o casco é um exemplo notável. Como interface entre o solo e o corpo, as paredes dos cascos de bovinos suportam o peso corporal e fornecem proteção física para a estrutura interna, prevenindo impactos e danos aos ossos (WANG et al., 2020).

Em um estudo, Wang et al. (2016) demonstraram que os principais constituintes da parede do casco são células queratinizadas por alfa-queratina. Os cascos de bovinos e equinos possuem uma estrutura parcialmente similar, composta por numerosos túbulos ovais com cavidade medular, além de materiais intertubulares que preenchem o espaço entre os túbulos (WANG et al., 2020).

De acordo com Wang et al. (2020), os cascos de bovinos apresentam diferentes camadas, cada uma com funções específicas. As camadas externas, com estruturas de queratina laminada, formam numerosas interfaces que atuam como mecanismos de desaceleração e absorção de energia. A camada intermediária difunde a força e absorve a energia gerada pela deformação. Já a camada interna, que funciona como interface entre o tecido dérmico e a parede do casco, atua como uma camada de transição, protegendo o corpo.

REFERÊNCIAS

AFONSO, João Sucena et al. Diagnosis of Bovine Digital Dermatitis: exploring the usefulness of indirect elisa. **Frontiers In Veterinary Science**, [S.L.], v. 8, p. 1-14, 1 nov. 2021. Frontiers Media SA. http://dx.doi.org/10.3389/fvets.2021.728691.

ALBUQUERQUE, A. C. Prevalência das afecções podais em bovinos: uma revisão sistemática. **Revista Brasileira de Ciência Animal**, 2023a.

ALBUQUERQUE, Laísa Bastos. **Laminite em bovinos: o que sabemos e o que falta saber?** 2023. 49 f. Monografia (Especialização) - Curso de Medicina Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023b.

Ahlén, L., Holmøy, I. H., Nødtvedt, A., Sogstad, Å. M., & Fjeldaas, T. (2022). A case–control study regarding factors associated with digital dermatitis in Norwegian dairy herds. **Acta Veterinaria Scandinavica,** 64(1), 19. https://doi.org/10.1186/s13028-022-00635-0.

ALSAAOD, Maher et al. First description of interdigital hyperplasia associated with contagious ovine digital dermatitis in two sheep. **Frontiers In Veterinary Science,** [S.L.], v. 9, p. 1-7, 5 jan. 2023. Frontiers Media SA. http://dx.doi.org/10.3389/fvets.2022.1028880.

BACH, S.; KROGER, I.; STEINER, A. Ultrassonografia de tecidos moles do casco bovino: parâmetros de referência em animais saudáveis. **Journal of Dairy Science**, 2019.

BARBOSA, Antônio Amaral et al. Prepartum lameness on subsequent lactation in Holstein dairy cows. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 50, n. 5, p. 1-8, 02 out. 2020. http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20190333.

BARBOSA, J. D.; PEREIRA, C. D.; SILVA, D. N. Afecções podais em bovinos: etiologia e impacto na produção. **Revista Brasileira de Saúde Animal**, 2016.

BARBOSA, J. D. et al. Aspectos epidemiológicos e econômicos da claudicação em bovinos. **Veterinária e Zootecnia**, 2020.

BEER, F. P. et al. **Mecânica dos materiais**. Porto Alegre, AMGH. 5° ed. 2011. p. 26 – 31; 67 – 75.

BICALHO, R. C. et al. Relação entre a espessura do coxim digital e o escore de condição corporal em bovinos. **Journal of Dairy Science,** 2009.

BIEMANS, Floor et al. Digital Dermatitis in dairy cattle: the contribution of different disease classes to transmission. Epidemics, [S.L.], v. 23, p. 76-84, jun. 2018. **Elsevier BV**. http://dx.doi.org/10.1016/j.epidem.2017.12.007.

BORDERAS, T.F. et al. Claw Hardness of Dairy Cows: relationship to water content and claw lesions. **Journal Of Dairy Science**, [S.L.], v. 87, n. 7, p. 2085-2093, jul. 2004. American Dairy Science Association. http://dx.doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(04)70026-0.

BORGES, L. C. et al. Morphoquantitative description of bovine digital cushion. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, 35(7), 671-676, 2015.

CARUSO, Juliana Gutierrez. **Desenvolvimento numérico-experimental de corpos de prova aplicáveis a ensaios de tração, compressão e torção de polímeros.** 2015. 174 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, São Bernardo do Campo, São Bernardo do Campo, 2015.

CLEGG, S. et al. Isolation of digital dermatitis treponemes from hoof lesions in wild North American elk (Cervus elaphus) in Washington State, USA. J. **Clin. Microbiol**., 2015.

CLARK, C. et al. Fracture toughness of bovine claw horn from cattle with and without vertical fissures. **The Veterinary Journal**, v. 173, n. 3, p. 541-547, maio 2007. http://dx.doi.org/10.1016/j.tvjl.2006.02.002.

DANSCHER, A.M. et al. Biomechanics and histology of bovine claw suspensory tissue in early acute laminitis. **Journal of Dairy Science**, v. 93, n. 1, p. 53-62, jan. 2010. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2009-2038.

DHAKAL, K. et al. Short communication: genomic selection for hoof lesions in first-parity US Holsteins. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 5, p. 3502-3507, maio 2015. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-8830.

DIAS, Marlos da Silva et al. Levantamento das Afecções Podais em Bovinos de Leite na Região do Distrito Federal e Entorno. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 2, p. 3137-3151, 2020. http://dx.doi.org/10.34119/bjhrv3n2-155.

DIONIZIO, José Alexandre Rocha et al. Ocorrência de afecções podais em bovinos atendidos pela Clínica de Bovinos de Garanhuns: aspectos epidemiológicos, clínicos, terapêuticos e econômicos. **Ciência Animal Brasileira,** [S.L.], v. 23, n. -, p. 1-11, 2022. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/1809-6891v23e-72731p.

GABRIEL FILHO, Edson José; CAETANO, Bruno Henrique de Carvalho; LOPES, Joyce Caroliny dos Santos. Dermatite digital bovina: Aspectos clínicos e econômicos. **Pubvet,** [S. l.], v. 17, n. 07, p. e1421, 2023. DOI: 10.31533/pubvet.v17n7e1421. Disponível em: https://ojs.pubvet.com.br/index.php/revista/article/view/3210.. Acesso em: 7 dez. 2024.

GRIFTHS, BE.; GROVE WHITE, D.; OIKONOMOU, G. A cross-sectional study into the prevalence of dairy cattle lameness and associated herd-level risk factors in England and Wales. **Frontiers In Veterinary Science**., 2018.

GARGANO, Ronaldo Gomes. **Avaliação da metodologia holandesa de apara os cascos de bovinos da raça nelore e fatores de influência na morfometria dos dígitos**. 2020. 146 f. Tese (Doutorado) - Curso de Medicina Veterinária, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

GRIFFITHS BE, Grove White D and Oikonomou G (2018) A CrossSectional Study Into the Prevalence of Dairy Cattle Lameness and Associated Herd-Level Risk Factors in England and Wales. **Frontiers In Veterinary Science**. 5:65. doi: 10.3389/fvets.2018.00065.

GUIMARÃES, M. M.; DINIZ, L. R. S. J.; SOUZA, C. **Ocorrência de afecções podais e claudicação em bovinos leiteiros alojados em diferentes sistemas de confinamento**. Sinapse Múltipla, p. 121-125, 2018.

HIBBELER, R.C. Mechanics of materiais. **Pearson Education South Asia**. 7° ed. 2008. p. 1 – 32; 47-64.

ICAR CLAW HEALTH ATLAS. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.icar.org/ICAR_Claw_Health_Atlas.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2024.

KASAPI, Mario A.; GOSLINE, John M.. Design Complexity and Fracture Control in the Equine Hoof Wall. Journal Of Experimental Biology, [S.L.], v. 200, n. 11, p. 1639-1659, 1 jun. 1997. **The Company of Biologists**. http://dx.doi.org/10.1242/jeb.200.11.1639.

LIMA, Ingrid Rios et al. Estudo radiográfico das extremidades distais dos membros locomotores de bovinos com claudicação. in: congresso brasileiro de buiatria, 8., 2009, Goiania. **Anais do VIII Congresso Brasileiro de Buiatria. Goiania**: Supl, 2009. p. 423-429.

LISCHER, C. J., KOLLER, U., GEYER, H., MÜLLING, C. H., SCHULZE, J., & OSSENT, P. Effect of therapeutic dietary biotin on the healing of uncomplicated sole ulcers in dairy cattle–a double blinded controlled study. **The Veterinary Journal**, 163(1), 51-60, 2002.

MASCIA, D. N. T. **Tração, compressão e lei de hooke.** Disponível em: <https://www.fec.unicamp.br/~nilson/apostilas/tracaocompressaoleidehooke-2020.pdf>. Acesso em: 28 set. 2024.

MENDES, Heloisa Mf et al. Histopatologia de cascos de vacas leiteiras com sinais de laminite adquirida naturalmente. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, Belo Horizonte, v. 5, n. 33, p. 613-619, maio 2013.

Moura R.B.R., Teodoro P.H.M., Mendonça A.P.A., Silva J.R.B., Cestari H., Rodrigues C.A., 2021. [Evaluation of copper and zinc chelate in the form of spray in the treatment of cows affected by digital dermatitis]. **Pesquisa Veterinária Brasileira**. Departamento de Clínica Cirurgia Veterinária, Universidade Estadual

Moreira T.F., Nicolino R.R., de Andrade L.S., Filho E.J.F. & de Carvalho A.U. 2018. Prevalence of lameness and hoof lesions in all year-round grazing cattle in Brazil. **Trop. Anim. Health Prod**. 50(8):1829-1834.

MULLING, C. K. et al. How Structures in Bovine Hoof Epidermis are Influenced by Nutritional Factors. **Anatomia, Histologia, Embryologia**, [S.L.], v. 28, n. 2, p. 103-108, abr. 1999. Wiley. http://dx.doi.org/10.1046/j.1439-0264.1999.00180.x.

NEWSOME, R. et al. Linking bone development on the caudal aspect of the distal phalanx with lameness during life. **Journal Of Dairy Science**, [S.L.], v. 99, n. 6, p. 4512-4525, jun. 2016. American Dairy Science Association. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-102020.

NEWSOME, R.F. et al. A prospective cohort study of digital cushion and corium thickness. Part 1: associations with body condition, lesion incidence, and proximity to calving. **Journal Of Dairy Science**, [S.L.], v. 100, n. 6, p. 4745-4758, jun. 2017. American Dairy Science Association. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2016-12012.

NICOLETTI, J. L. M. **Manual de podologia bovina.** 1ª ed. Manole: São Paulo, 2004. 130p.

PALHANO, R. L. A. et al. **Alterações metabólicas e histopatológicas de tecido lamilar do casco e da mucosa ruminal em bovinos submetidos a dietas com diferentes níveis de amido.** 2022.Tese (Mestrado em Ciência Animal) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

PUERTO, M.A. et al. The hidden cost of disease: ii. impact of the first incidence of lameness on production and economic indicators of primiparous dairy cows. Journal Of Dairy Science, [S.L.], v. 104, n. 7, p. 7944-7955, jul. 2021. **American Dairy Science Association.** http://dx.doi.org/10.3168/jds.2020-19585.

QUEIROZ, P. J. B.; ASSIS, B. M.; SILVA, D. C.; DANTAS, A. V. E.; RABELO, R. E.; SILVA, L. A. F. da. Aminoácidos, minerais, vitaminas e a saúde do casco dos bovinos. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, [S. l.], v. 16, p. 1–10, 2018. DOI: 10.7213/1981-4178.2018.163102.Disponível em https://periodicos.pucpr.br/cienciaanimal/article/view/e163102. Acesso em:6 dez. 2024.

REIS, I. D. DOS; NOGUEIRA, V. J. M. Afecções podais em bovinos de leite . **Revista Agroveterinária do Sul de Minas** - ISSN: 2674-9661, v. 5, n. 1, p. 136 - 154, 21 maio 2023.

SEIXAS, Mafalda Henrique. **Estudo de prevalência e fatores de risco em lesões podais de bovinos em matadouro**. 2023. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Medicina Veterinária, Universidade de Trás Os Montes e Alto Douro, Vila Real, 2023.

SERRA, R.M.; DIAS, R.C.; CAVALCANTE, M.P.; ALZAMORA FILHO, F. **Prevalência das afecções podais e morfometria do casco de vacas lactantes na bacia leiteira de Ilhéus-Itabuna, Bahia**. INVESTIGAÇÃO, v. 16, n. 1, 2017

SOARES, Ana Katharina de Araújo Lima et al. Impact of foot diseases on dairy cattle: a review. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 304-319, jun. 2019. GN1 Sistemas e Publicações Ltd.. http://dx.doi.org/10.5935/1981-2965.20190023.

SOUZA, Francisco Armando de Azevedo et al. Aspectos físicos e químicos da solução do pedilúvio em duas propriedades leiteiras em sistema “free stall” / Aspectos físicos e químicos da solução do pedilúvio em duas propriedades leiteiras em sistema “free stall”. **Brazilian**

Journal Of Development, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 7356-7371, 27 jan. 2022. South Florida Publishing LLC. http://dx.doi.org/10.34117/bjdv8n1-496.

SOUSA, R. S. et al. Characterization of oligofructose-induced acute rumen lactic acidosis and the appearance of laminitis in zebu cattle. **Animals**, v. 10, n. 3, p. 429, 2020.

TAVARES, Nicolas Conter. **O impacto nutricional sobre o rúmen, tecido laminar e coxim digital de bovinos de corte confinados**. 2018. 74f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

TOMLINSON, D. J.; MULLING, C. H.; FAKLER, T. M.. Invited Review: Formation of Keratins in the Bovine Claw: Roles of Hormones, Minerals, and Vitamins in Functional Claw Integrity. © **American Dairy Science Association**, Berlin, v. 87, p. 797-809, out. 2004.

TOLEDO, Daniel Lemes; BERTO, Vinicius; COSTA, Diego Teodoro. Relato de caso: hiperplasia interdigital em um bovino, no município de espigão d'oeste no ano de 2023. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, [S. l.], v. 9, n. 11, p. 396–402, 2023. DOI: 10.51891/rease.v9i11.12274. Disponível em: https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/12274. Acesso em: 6 dez. 2024.

TÚLIO, Lívia Maria. **Estudo biométrico do casco bovino e bubalino: avaliação de características anátomo-fisiológicas do casco sadio**. 2006. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Medicina Veterinária, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

VIANA, R. B., MONTEIRO, B. M., de OLIVEIRA MELO, W., de OLIVEIRA, D. R., DAHER, L. C. C., RIBEIRO FILHO, J. D.. Ocorrência de lesões podais em bovinos de corte criados em lotação contínua no estado do Pará. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 16, p. 1-8, 2018.

WANG, Bingfeng et al. Microstructure and mechanical properties of an alpha keratin bovine hoof wall. Journal Of The Mechanical Behavior Of Biomedical Materials, [S.L.], v. 104, p. 103689, abr. 2020b. **Elsevier BV**. http://dx.doi.org/10.1016/j.jmbbm.2020.103689.

WANG, Bin et al. Keratin: structure, mechanical properties, occurrence in biological organisms, and efforts at bioinspiration. Progress In Materials Science, [S.L.], v. 76, p. 229-318, mar. 2016a. **Elsevier BV**. http://dx.doi.org/10.1016/j.pmatsci.2015.06.001.

WEGST, U. G. K. et al. The mechanical efficiency of natural materials. Philosophical Magazine, [S.L.], v. 84, n. 21, p. 2167-2186, 21 jul. 2004. **Informa UK Limited**. http://dx.doi.org/10.1080/14786430410001680935.

Zinicola, M., Lima, F., Lima, S., Machado, V., Gomez, M., Döpfer, D., Guard, C., & Bicalho, R. (2015). Altered microbiomes in bovine digital dermatitis lesions, and the gut as a pathogen reservoir. **PLoS One**, 10(3),e0120504. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0120504.

CAPÍTULO 2 – ARTIGO FORMATADO DE ACORDO COM AS NORMAS DA REVISTA RESEARCH IN VETERINARY SCIENCE

AVALIAÇÃO INTEGRADA DE ALTERAÇÕES PODAIS EM BOVINOS: ANÁLISE ULTRASSONOGRÁFICA, RADIOGRÁFICA E HISTOPATOLOGICA

CRISTIANE C. SALATIEL[1]; HUGO S. TOMA[1]; DJEISON L. RAYMUNDO [2]; ANTONIO C. C. LACRETA JUNIOR[3]; CLAUDIA D. M. TOMA

1 Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, Universidade Federal de Lavras – UFLA
2 Curso de Medicina Veterinária, Centro Universitário de Lavras – UNILAVRAS
3 Departamento de Medicina Veterinária, Universidade Federal de Lavras – Minas Gerais, Brasil.

Correspondente
Cristiane da Costa Salatiel, Universidade Federal de Lavras – Minas Gerais, Brasil.
Email: Cristiane.salatiel@estudante.ufla.br

RESUMO

A ultrassonografia transcuneal tem se desenvolvido como uma técnica importante nas pesquisas sobre a saúde podal de bovinos. O objetivo deste estudo foi avaliar as camadas do estojo córneo por meio de ultrassonografia, comparando a espessura dessas camadas entre grupos com diferentes lesões. Para complementar, foram realizados exames radiográficos para identificar as alterações ósseas e, além disso, uma análise histopatológica das lâminas dérmicas para observar lesões nos tecidos. O estudo envolveu 47 peças da região distal do membro pélvico de bovinos, distribuídas em 5 grupos: controle (C), dermatite digital (DD), erosão de talão (ET), hiperplasia interdigital (HI) e cascos em tesoura (TE). Essas peças foram coletadas em frigoríficos parceiros da região do sul de minas. O exame ultrassonográfico mostrou diferença significativa nas espessuras dos córios ($p<0,020$). Nos exames radiográficos, a entesopatia do processo extensor foi a alteração predominante nos grupos com lesões, especialmente em animais com dermatite digital e hiperplasia interdigital (80% em ambos), enquanto a doença articular degenerativa foi observada apenas no grupo de

cascos em tesoura (29%). A análise histopatológica revelou diferença significativa entre o grupo ET e o grupo DD (p=0,033), e entre o grupo HI e o grupo DD (p=0,011) em relação à presença de tecido conjuntivo nas lâminas dérmicas.

Palavras-chaves: Ultrassonografia transcuneal; Cório; Entesopatia.

1 INTRODUÇÃO

As doenças podais representam um problema significativo na bovinocultura, impactando tanto a saúde animal quanto a produtividade dos rebanhos. Essas enfermidades, que afetam principalmente os membros dos bovinos, são uma das principais causas de claudicação, causando dor, desconforto e redução na capacidade de locomoção dos animais (PUERTO *et al.*, 2021). Cerca de 90% das claudicações em bovinos são provenientes de afecções podais (BARBOSA *et al*., 2016).

O diagnóstico das lesões podais inicia-se com a avaliação clínica, sendo necessário o acompanhamento por meios de diagnósticos complementares, como os de imagem. A ultrassonografia tem ganhado espaço no diagnóstico e manejo das afecções podais, é uma ferramenta exemplar para avaliação dos tecidos moles do estojo córneo. Um estudo pioneiro de ultrassonografia em estojo córneo foi apresentado por Kofler *et al*. (1999), no qual foi validado a eficácia do uso de ultrassom para mensurar a camada de queratina e os tecidos moles subjacentes, nesse estudo utilizou um transdutor linear de 7,5 MHz.

A partir dessa abordagem a exploração do uso da ultrassonografia sobre avaliação do tecido mole se expande nas pesquisas. De acordo com Bicalho *et al.* (2009) as espessuras do coxim digital dos bovinos possuem correlação com o ECC do animal, no qual quanto maior o ECC, maior a espessura do coxim digital. Complementando essa abordagem, Newsome *et al*. (2016) realizaram avaliações ultrassonográficas do coxim digital e identificaram em bovinos que desenvolveram úlceras de sola ou hemorragias graves na sola apresentaram coxins digitais mais finos.

Esses trabalhos destacam a importância da avaliação por imagem na análise das estruturas internas do casco, porém as análises presentes na literatura são voltadas

principalmente a avaliação da espessura do coxim digital. No entanto, ainda é necessário ampliar os estudos para incluir animais acometidos por outras doenças podais, visando comparar a espessura e as características dos tecidos moles do estojo córneo entre animais saudáveis e doentes. Além disso, a investigação de alterações ósseas com auxílio de raio x complementa essas análises, proporcionando uma visão mais abrangente das lesões estruturais e sua relação com o desenvolvimento das doenças podais.

A histologia das lâminas dérmicas de bovinos com lesões podais é um campo de estudo fundamental para compreender as alterações estruturais e patológicas que ocorrem nos tecidos dos membros desses animais. Os estudos histopatológicos das laminas dérmicas de bovinos existentes na literatura são mais voltadas para bovinos com laminites (MENDES et al.,2013; DANSCHER *et al*.,2010; SOUZA *et al*.,2020). No trabalho de Souza et al. (2020), uma análise histológica confirma a presença de laminite com base na observação de dilatação de vasos linfáticos, vacuolização de células epidérmicas, degeneração e necrose epidérmica. Dessa forma se torna necessário a exploração da histologia de lâminas dérmicas em animais com presença de outras afecções podais.

O objetivo principal deste estudo é avaliar as camadas de queratina, cório e coxim digital do estojo córneo de bovinos, comparando os resultados obtidos entre animais saudáveis e aqueles acometidos por afecções podais, como dermatite digital, hiperplasia interdigital, erosão de talão e casco em tesoura. A proposta visa identificar possíveis alterações estruturais nessas camadas que possam estar relacionadas ao desenvolvimento de doenças podais. Essa investigação contribuirá para uma compreensão mais aprofundada dos fatores que impactam a saúde podal, auxiliando no diagnóstico precoce, na prevenção e no manejo eficaz dessas condições. Além disso, o estudo tem como segundo objetivo analisar as características histológicas de bovinos com diferentes tipos de lesões podais, explorando alterações nos componentes celulares e estruturais das lâminas dérmicas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido após aprovação da Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA), da universidade federal de Lavras com protocolo n° 001/22.

2.1 Seleção das Peças Anatômicas e Grupos

As peças anatômicas foram recolhidas em frigoríficos parceiros do sul de minas. Foram avaliados no total 47 peças da região distal do membro pélvico de bovinos. Conforme eram abatidos os animais, o frigorifico descartava os membros ao nível da articulação metatarso falangeana que apresentavam alguma doença podal no casco. Os acessos a seleção das peças eram restritos apenas as que eram descartadas pelo fiscal de Inspeção Federal do frigorifico, devido a isso, não foi possível a identificação de raça e idade dos animais, porém eram animais de raças voltada a produção de carne. Após a coleta as peças eram identificadas com uma fita que identificava o animal e a doença observada.

As peças eram encaminhadas no mesmo dia para o hospital de clínica de grandes animais da Universidade federal de lavras (UFLA), no qual realizava o exame de ultrassom e consequentemente eram encaminhadas para o setor de imagem da UFLA para realizar a radiografia. Após os exames de imagem as peças foram encaminhadas para o setor de biomateriais para seccionar as peças ao meio e coletar as lâminas dérmicas.

Os grupos foram montados de forma aleatória, de acordo com a predominância de doenças observadas no dia da coleta. Prezamos em montar 5 grupos e cada um com 10 peças. Das peças que foram coletadas, as possuíam a presença de dois tipos de alteração era descartada. Os membros eram selecionados quando apresentavam alterações podais. As doenças dos cascos foram classificadas conforme é descrito nas enfermidades podais do atlas ICAR (International Committee for Animal Recording). ICAR é um atlas que descreve a maioria afecções podais

com a nomenclatura correta que são observadas em bovinos, é um atlas que foi descrito por vários pesquisadores da área. (“ICAR CLAW HEALTH ATLAS”, [s.d.]).

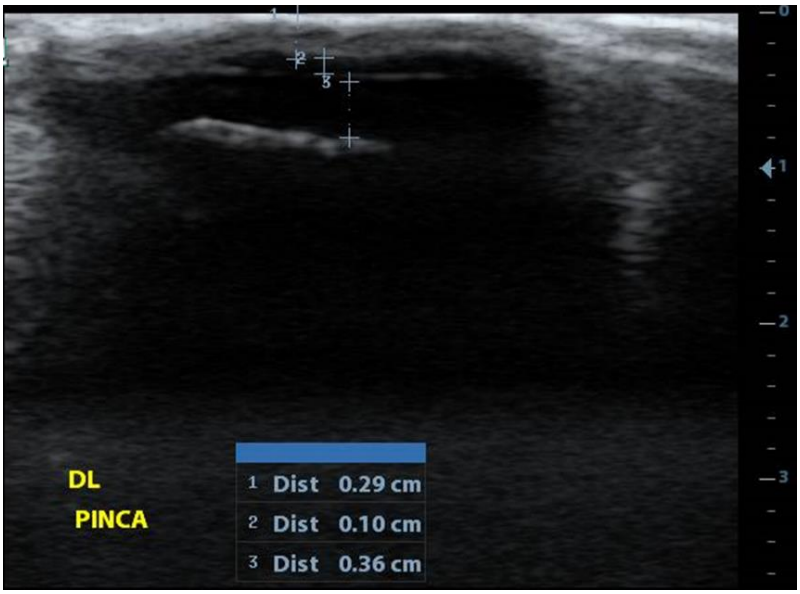
Foi possível montar 5 grupos, 10 animais sem alteração representando o grupo controle (C), 10 animais com Erosão de Talão (ET), 10 animais com Dermatite Digital (DD), 10 animais com Hiperplasia interdigital (HI), e 7 animais com casco em forma de tesoura (TE). Foram realizadas várias coletas até agrupar os 10 membros de cada doença, pois em um dia de coleta não era possível montar apenas um grupo.

2.2 Exame ultrassonográfico

O exame ultrassonográfico foi realizado em aparelho do modelo DP-10 Vet Power em modulo B da linha preto e branco da marca Mindray, com um transdutor linear com frequência de 5 MHz. Preconizou-se avaliação transcuneal através da unha do digito lateral do membro pélvico, no qual por coincidência as unhas laterais apresentavam lesões. Realizamos uma varredura do transdutor sobre a sola na região de pinça e bulbo, os cascos não foram aparados para execução do exame. Como forma de promover uma almofada de recuo e melhorar a observação das estruturas desejadas, foi aplicado uma camada mais espessa de gel sobre os cascos. O transdutor foi posicionado em plano transversal a sola do casco (eixo lateromedial), para realização do exame e obtenção das imagens ultrassonográficas.

O objetivo, por meio da ultrassonografia, foi delimitar as regiões que compõem o estojo córneo, incluindo os tecidos subjacentes, como o cório e o coxim digital, analisados separadamente (Figura 1). Com isso, realizamos a mensuração da espessura da queratina, do cório e do coxim digital em bovinos, com o intuito de identificar possíveis diferenças nessas camadas entre animais saudáveis e aqueles afetados por diferentes tipos de lesões podais.

Figura 1: Imagem ultrassonográfica demonstrando a mensuração das camadas de queratina, cório e coxim digital. Os resultados das mensurações são em centímetros (cm), (1 dist) é referente a espessura da queratina, (2 dist) espessura do cório, (3 dist) espessura do coxim digital.



2.3 Avaliação radiográfica

O exame radiográfico foi realizado no setor de diagnóstico por imagem na Universidade Federal de Lavras. O aparelho utilizado foi Altus 503 (SAwae®).

Foram realizadas radiografias nos planos dorso-plantar e latero-medial, com e sem sobreposições das falanges. O objetivo desse exame foi identificar possíveis alterações ósseas e articulares em bovinos, incluindo osteólise, proliferação óssea (entesopatia), doenças degenerativas articulares, osteíte, periostite, artrite séptica e osteomielite, conforme descrito por Borges et al. (2006).

2.4 Histopatologia das lâminas dérmicas

2.4.1 Amostragem de tecido

Após a coletas dos membros no frigorifico as peças eram encaminhadas para o departamento de medicina veterinária da UFLA (Universidade Federal de Lavras). Os tecidos

foram coletados nos mesmos dias do abate do animal. Com auxílio de uma serra fita os dígitos com alteração foram seccionados ao meio para permitir a coleta das laminas dérmicas. Com auxílio de uma lâmina de bisturi n° 21 foi realizada a coleta do tecido, contendo a interface entre as lâminas dérmicas e epidérmicas. Logo após a coleta o tecido foi fixado em formol a 10% por 24h, conforme descrito por Laskoski (2013).

2.4.2 Preparação do tecido

Após a coleta do tecido e a fixação desse no formol a 10% por 24 horas, realizamos o processo de clivagem. Que consiste no corte do tecido em aproximadamente 0,3 mm, a fim de que no momento do processamento todos os reagentes pudessem alcançar seu interior. Os cortes foram realizados com as mãos com luvas, com auxílio de uma navalha para cortar os tecidos, pinça para alcançar os tecidos no frasco, cassetes para posterior processamento, lápis e papel para identificação dos mesmos.

O processamento foi realizado no Histotécnico, manualmente, e o processo completo tem duração média de 5 horas. Primeiramente o tecido passa por uma desidratação, em concentração crescente de etanol, essa etapa tem duração média de 160 min. Segundamente o tecido passa por uma clarificação/ diafanização que retira o álcool e prepara o tecido para inclusão em parafina, tal processo dura em média 30 min. Finalmente o tecido passa pela infiltração em parafina líquida a 60°C, por 80 min, para enfim, ser infiltrada e possibilitar a formação do bloquinho. O tecido é incluído na parafina a fim de se obter um bloco permanente com o tecido. Os blocos devidamente posicionados no Micrótomo foram cortados em espessura de 3 micrômetros.

2.4.3 Coloração em Hematoxilina- Eosina (HE).

Primeiramente a lâmina passa pelo Xilol para desparafinar por aproximadamente 30 minutos. Posteriormente a lâmina passa por uma seção crescente de álcool para hidratar o

tecido. Após esse processo as lâminas ficaram por 2 minutos na Hematoxilina, lavada em água e passada por 40 segundos na eosina. Logo após, passa pela seção de álcool para desidratar e finalmente, passa por Xilol para a montagem.

2.4.4 Leitura das Lâminas coradas em HE.

As lâminas dérmicas foram analisadas sob um microscópio de luz com ampliações de 4x, 10x e 40x. A avaliação do processo de necrose foi realizada com base na proliferação de tecido conjuntivo fibroso na derme, permitindo a classificação em três graus: leve, moderado e acentuado.

2.5 Análise Estatísticas

Todos os dados coletados foram organizados em uma planilha no Microsoft Excel®. Para as análises de imagem, inicialmente, a normalidade da distribuição dos dados foi avaliada utilizando o teste de Shapiro-Wilk. Nos casos em que o teste apresentou $P< 0,005$ foi aplicado o teste de Dwass-Steel-Crichtlow-Fligner para comparações múltiplas entre os grupos estudados. Os resultados foram considerados estatisticamente significativos quando $P <0,05$. Para os dados de histopatologia, foi realizada uma análise de frequência por meio de tabelas de contingência, utilizando o teste de associação qui-quadrado (x^2), comparando todos os grupos entre si. Todas as análises estatísticas foram realizadas no programa Jamovi project ®.

3 RESULTADOS

3.1 Exame Ultrassonográfico

A ultrassonografia foi utilizada para realizar as mensurações das camadas que compõem o estojo córneo, incluindo a queratina, o cório e o coxim digital, em duas regiões específicas da sola do casco: a pinça e o bulbo do talão.

De acordo com as análises estatísticas dos dados compilados a região de pinça não apresentou diferenças significativas dos parâmetros mensurados entre os grupos estudados (C, DD, ET, HI, TE) (Tabela 1). Já a região do bulbo do talão apresentou uma diferença significativas entre as espessuras dos córios avaliados ($p< 0,020$) (Figura 2- B). A Figura 2 apresenta os resultados estatísticos das avaliações realizadas na região do bulbo do talão, com comparações entre os diferentes grupos estudados. A tabela 1 apresenta os resultados do teste de Shapiro-Wilk, utilizado para avaliar a normalidade da distribuição dos dados em cada variável analisada. Os valores de W (estatística do teste) e p-valores estão descritos para cada conjunto de dados. Cada resultado da variável analisada inclui a comparação de todos os grupos.

Tabela 1: Análises das distribuições dos dados de todas as variáveis analisadas no exame ultrassonográfico.

Teste à Normalidade (Shapiro-Wilk)		
	W	**p**
Pinça - Queratina	0.976	0.433
Pinça- Cório	0.956	0.073
Pinça- Coxim digital	0.988	0.909
Bulbo- Queratina	0.969	0.249
Bulbo – Cório	0.942	0.020 *
Bulbo- Coxim digital	0.983	0.738

Nota. Um p-value pequeno sugere a violação do pressuposto da normalidade

Figura 2: Ultrassonografia da região do bulbo do talão. As letras presentes nas figuras representa as variáveis analisadas: A (Queratina); B (Cório); C (coxim digital). Os pontos destacados nos gráficos representam (*Outlier*) valores discrepantes para a espessura ultrassonográfica em diferentes grupos. Os números associados a esses pontos indicam os valores específicos das espessuras, expressos em centímetros (cm).

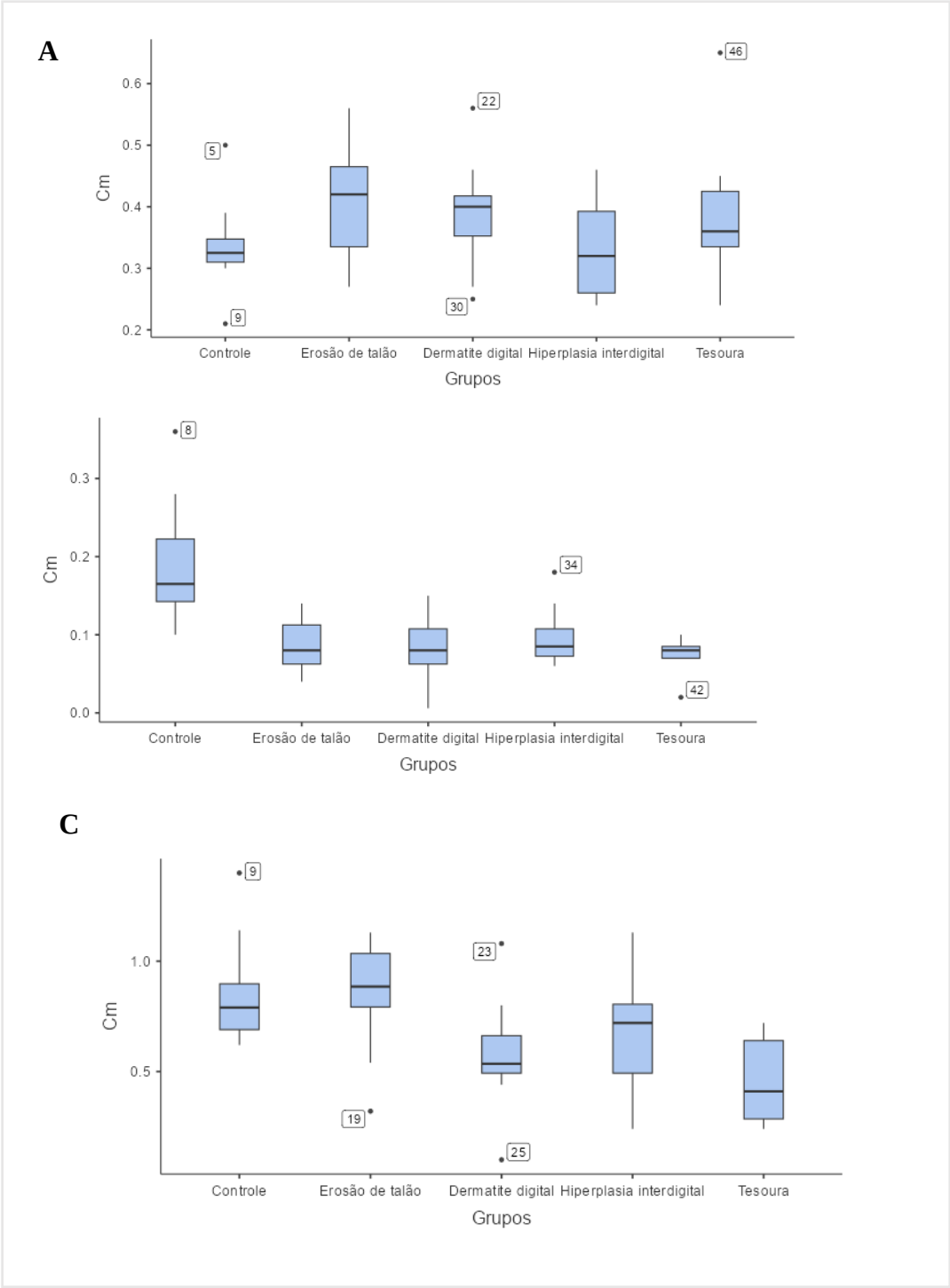


Tabela 2: Comparações entre os grupos estudados na análise ultrassonográfica da região do bulbo do talão na camada do cório (Teste Dwass-Steel-Crichtlow-Fligner).

Comparações múltiplas - Dwass-Steel-Crichtlow-Fligner

		W	p
Controle	**Erosão de talão**	-4.656	0.009*
Controle	**Dermatite digital**	-4.448	0.014*
Controle	**Hiperplasia interdigital**	-4.127	0.029*
Controle	**Tesoura**	-4.710	0.008*
Erosão de talão	**Dermatite digital**	-0.161	1.000
Erosão de talão	**Hiperplasia interdigital**	1.022	0.951
Erosão de talão	**Tesoura**	-0.627	0.992
Dermatite digital	**Hiperplasia interdigital**	1.023	0.951
Dermatite digital	**Tesoura**	-0.557	0.995
Hiperplasia interdigital	**Tesoura**	-1.539	0.813

Foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre o grupo controle e os grupos ET (p = 0,009), DD (p = 0,014), HI (P = 0,029) e TE (p = 0,008). Não houve diferenças estatisticamente significativas entre os grupos com lesões (ET, DD, HI e TE), com p-valores superiores a 0,05 em todas as comparações (Tabela 2).

3.2 Exame Radiográfico

No exame radiográfico, não foram identificadas alterações ósseas significativas em grande parte dos casos analisados. No entanto, as alterações predominantes observadas entre os grupos incluíram entesopatia do processo extensor e sinais de doença articular degenerativa. A tabela 3 apresenta a distribuição de resultados entre os grupos estudados, indicando as porcentagens de ocorrência de diferentes condições ou alterações radiográficas. O grupo controle apresentou uma ausência total de alterações (100% sem alterações). Entesopatia do processo extensor foi a alteração predominante nos grupos com lesões, especialmente em animais com dermatite digital (80%) e hiperplasia interdigital (80%). A doença articular

degenerativa foi observada exclusivamente no grupo com casco em tesoura, com uma frequência de 29%.

Figura 3: Imagem radiográfica demonstrando a entesopatia do processo extensor (EPE). Imagem A representa raio x de um animal sem alteração do grupo controle. Imagem B representa um animal com EPE, no qual o círculo branco identifica a proliferação do osso.

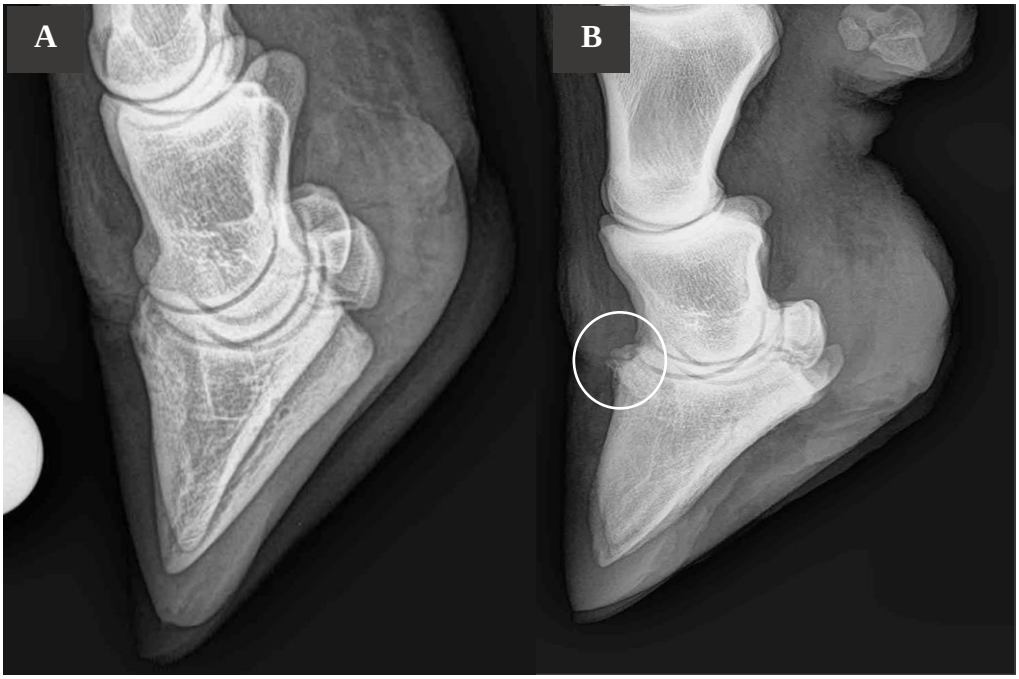


Tabela 3: Frequência de Alterações ósseas encontradas no raio- x. Alt. Óssea (alteração óssea); S A (Sem alteração); EPE (Entesopatia do processo extensor); DAD (doença articular degenerativa). Grupos C (controle); DD (dermatite digital); ET (Erosão de talão); HI (hiperplasia interdigital); TE (tesoura).

	Grupos									
Alt. óssea	C		DD		ET		HI		TE	
SA	10/10.	(100%).	2/10.	(20%).	5/10.	(50%).	2/10.	(20%).		0%
EPE		0	8/10.	(80%).	5/10.	(50%).	8/10.	(80%).	5/7.	(71%).
DAD		0		0		0		0	2/7.	(29%).

3.3 Histopatologia

Realizamos a graduação das lesões nas lâminas dérmicas com base na presença de tecido conjuntivo nas áreas afetadas (Figura 4). As lesões foram classificadas em três níveis: leve, moderada e acentuada. No grupo controle, não foram observadas alterações nas lâminas dérmicas, o que permitiu identificar diferenças estatisticamente significativas ao comparar este grupo com os demais grupos afetados por afecções podais. O grupo ET comparado com o grupo DD, foi observada uma diferença estatisticamente significativa (p= 0,033). O grupo HI comparado com o grupo DD, também apresentou uma diferença estatisticamente significativa (p=0,011) (Gráfico 1).

Gráfico 1: Gráfico representando o grau de acometimento das lâminas dérmicas por tecido conjuntivo em cada grupo estudado. (*) representa p = 0,011; (**) representa p=0,033.

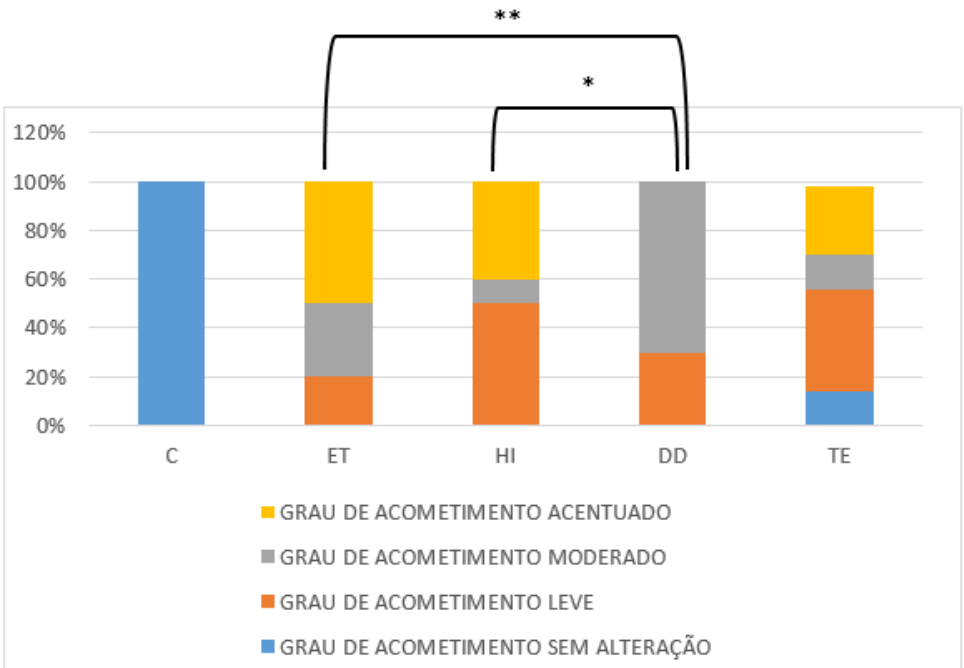
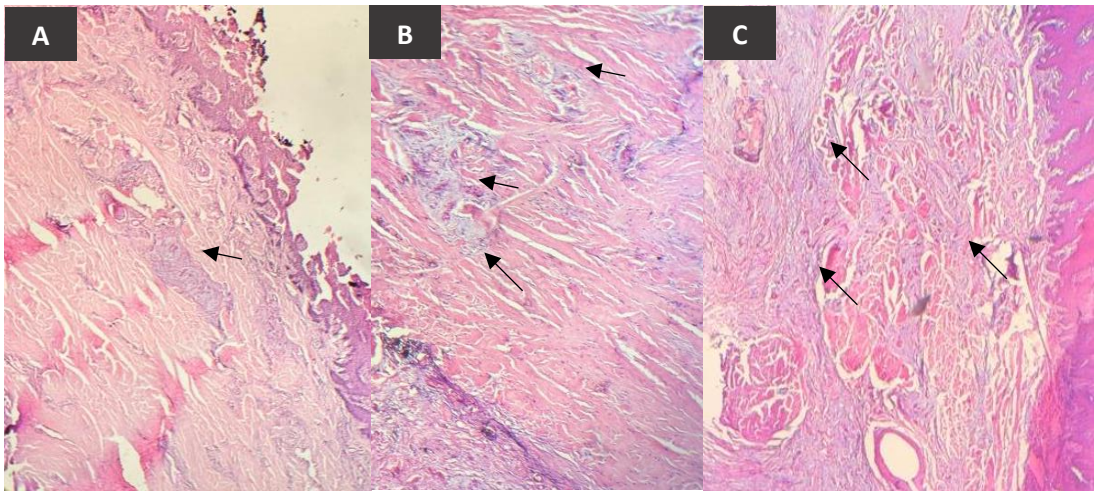


Figura 4 : Laminas dérmicas coradas em HE apresentando graus de proliferação de tecido conjuntivo fibroso. Graus : A (Leve); B (moderado); C (Acentuado). As setas indicam a presença dos tecidos conjuntivos.



4 DISCUSSÃO

Este estudo investigou as alterações podais em bovinos, com uma abordagem integrada que incluiu análises ultrassonográficas, radiográficas e histopatológicas. A técnica utilizada nesse estudo de mensuração das estruturas internas do aparelho locomotor, foi baseada nos estudo de Kofler et al. (1999). É relatado na literatura que cerca de 92% das lesões associadas a claudicação em bovinos ocorrem nos membros posteriores e 65 % da claudicação dos membros posteriores ocorre na unha lateral (MURRAY *et al.*, 1996). Seguindo esse parâmetro buscamos avaliar apenas membros posteriores e unhas laterais.

A ultrassonografia transcuneal foi realizada em duas áreas específicas da sola do casco: a região de pinça e o bulbo do talão. Para análise, os dados das duas áreas foram avaliados separadamente. Na região da pinça, as mensurações realizadas não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os grupos analisados (C, ET, DD, HI, TE), com valores de $p>0,05$. Os resultados indicam que as lesões podais avaliadas neste estudo comprometem

predominantemente a região do bulbo do talão. Essa predominância pode explicar a ausência de diferenças significativas nas mensurações realizadas na região da pinça, sugerindo que essa área é menos afetada pelos tipos de lesões estudados. Esses achados destacam a importância de direcionar a atenção diagnóstica e terapêutica para a região do bulbo do talão, onde as alterações estruturais parecem ser mais evidentes.

A ultrassonografia transcuneal realizada na região do bulbo do talão não revelou diferenças estatisticamente significativas nas espessuras da queratina e do coxim digital ao comparar os grupos afetados pelas lesões estudadas, com ($p>0,05$). Esses resultados estão alinhados com o estudo de Gargano (2015), no qual as ultrassonográficas da espessura do coxim digital também não apresentaram diferenças significativas. Esses resultados sugerem que as lesões podais analisadas não impactaram de forma diferenciada essas estruturas específicas na região do bulbo, indicando uma possível uniformidade nas alterações dessas camadas entre os grupos lesionados. No estudo de Newsome et al. (2017), foi apresentado que os tecidos moles da sola, incluindo o cório, mostraram uma espessura reduzida na presença de lesões de dermatite digital. Esse achado corrobora os resultados do presente estudo, no qual os animais dos grupos com lesões podais (DD, HI, ET, TE) mostraram uma tendência a apresentar um cório menos espesso em comparação ao grupo controle, com diferença estatisticamente significativa ($p = 0,02$). Esse achado reforça a relevância do cório como um marcador potencial de alterações estruturais associadas a lesões podais, destacando sua importância na avaliação da saúde do casco.

Os exames radiográficos realizados nos membros foram observados entesopatia do processo extensor. Um entesófito é uma proliferação óssea na origem ou inserção no osso de um tendão (TSUKA *et al.,* 2012). Entesopatia podem se formar como consequência de doença

articular degenerativa, geralmente são resultados de um episódio traumático anterior (BERRY *et al*., 2023).

O grupo controle apresentou ausência de alterações ósseas reforçando sua condição como referência saudável. A entesopatia do processo extensor teve alta prevalência em grupos com lesões, especialmente nos grupos com DD (80%) e HI (80%), indicando que essas lesões podem estar associadas a um processo inflamatório. A doença articular degenerativa (DAD), foi uma alteração exclusiva do grupo com casco em tesoura (29%), sugerindo maior comprometimento articular associado a essa deformidade. Esses resultados evidenciam a relação entre as lesões podais e a ocorrência de alterações ósseas, especialmente a entesopatia do processo extensor, que foi a alteração mais comum.

A análise histopatológica das lâminas dérmicas neste estudo revelou graus variados de necrose tecidual. Observou-se que, nas lâminas lesionadas, a musculatura perdeu sua função original, sendo progressivamente substituída por tecido conjuntivo fibroso. Essa transformação resultou em uma perda significativa da arquitetura tecidual original, comprometendo a integridade estrutural e funcional das lâminas.

Essas alterações são características de um processo patológico crônico, em que o tecido conjuntivo atua como substituto reparador em resposta à necrose e à inflamação. Essa proliferação fibrosa, embora necessária para a cicatrização, pode impactar negativamente a biomecânica do casco, contribuindo para a progressão das lesões podais e prejudicando a saúde e o desempenho locomotor dos animais.

Grupo ET comparado com Grupo DD, apresentou uma diferença estatisticamente significativa ($p=0,033$). No qual o grupo DD não apresentou casos de acometimento acentuado, enquanto o grupo ET destacou-se como o grupo com maior prevalência de lesões acentuadas.

Os grupos com erosão de talão apresentaram maior comprometimento histológico nas lâminas dérmicas, devido às diferenças nos mecanismos de ação e nas localizações anatômicas das lesões associadas a essas condições. A erosão de talão afeta diretamente a área de suporte e absorção de impactos dos cascos, que está sujeita a maior pressão durante a locomoção. Esse impacto mecânico contínuo pode resultar em maior trauma e inflamação nas lâminas dérmicas, levando a necrose tecidual mais pronunciada e à substituição por tecido conjuntivo fibroso.

Grupo HI comparado com Grupo DD, também houve uma diferença estatisticamente significativa (p=0,011). O grupo HI apresentou maior prevalência de lesões leves, em contraste com o grupo DD, que apresentou uma distribuição mais equilibrada entre os graus de lesão. A maior prevalência de lesões leves no grupo com hiperplasia interdigital, comparado com o grupo com dermatite digital, pode ser explicada pelas características específicas de cada condição. A hiperplasia interdigital é caracterizada pelo crescimento de tecido conjuntivo fibroso no espaço interdigital, geralmente em resposta à irritação crônica e condições ambientais adversas, como umidade ou abrasão (ALSAAOD et al., 2023). Esse tipo de lesão tende a ser mais superficial e localizada, não causando comprometimento profundo das lâminas dérmicas, resultando em lesões predominantemente leves. A dermatite digital, por outro lado, é uma doença infecciosa que frequentemente envolve bactérias como *Treponema spp*. (AFONSO et al., 2021). Essa condição inflamatória afeta a pele e pode progredir para os tecidos mais profundos.

5 CONCLUSÃO

A ultrassonografia transcuneal revelou que as lesões podais afetam predominantemente a região do bulbo do talão, com alterações significativas na espessura do cório, indicando sua relevância como marcador estrutural de lesões podais. Já na avaliação de espessura da queratina e cório não observou diferenças, indicando uniformidade nessa área entre os grupos lesionados. Os exames radiográficos evidenciaram alta prevalência de entesopatia do processo extensor nos grupos com DD e HI associando essa condição a processos inflamatórios crônicos. A análise histopatológica revelou que o grupo ET apresentou lesões histológicas mais graves enquanto o grupo com HI teve maior prevalência de lesões leves. Embora os resultados deste estudo forneçam contribuições valiosas para a compreensão das alterações podais em bovinos, é necessário realizar mais pesquisas que explorem outros fatores relacionados às lesões estudada nessa pesquisa, como condições ambientais, características genéticas e metabólicas dos animais.

REFERÊNCIAS

AFONSO, João Sucena *et al*. Diagnosis of Bovine Digital Dermatitis: exploring the usefulness of indirect elisa. **Frontiers In Veterinary Science**, [S.L.], v. 8, p. 1-14, 1 nov. 2021. Frontiers Media SA. http://dx.doi.org/10.3389/fvets.2021.728691.

ALSAAOD, Maher *et al*. First description of interdigital hyperplasia associated with contagious ovine digital dermatitis in two sheep. **Frontiers In Veterinary Science**, [S.L.], v. 9, p. 1-7, 5 jan. 2023. Frontiers Media SA. http://dx.doi.org/10.3389/fvets.2022.1028880.

BARBOSA, J. D.; PEREIRA, C. D.; SILVA, D. N. Afecções podais em bovinos: etiologia e impacto na produção. **Revista Brasileira de Saúde Animal**, 2016.

BARBOSA, Antônio Amaral et al. Prepartum lameness on subsequent lactation in Holstein dairy cows. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 50, n. 5, p. 1- 8, 02 out. 2020. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20190333.

BICALHO, R. C. et al. Relação entre a espessura do coxim digital e o escore de condição corporal em bovinos. **Journal of Dairy Science**, 2009.

DANSCHER, A.M. et al. Biomechanics and histology of bovine claw suspensory tissue in early acute laminitis. **Journal of Dairy Science**, v. 93, n. 1, p. 53-62, jan. 2010. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2009-2038.

ICAR CLAW HEALTH ATLAS. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.icar.org/ICAR_Claw_Health_Atlas.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2024.

Kofler, J., P. Kübber, and W. Henninger. 1999. Ultrasonographic imaging and thickness measurement of the sole horn and the underlying soft tissue layer in bovine claws. **Vet. J**. 157:322–331.

MENDES, Heloisa Mf et al. Histopatologia de cascos de vacas leiteiras com sinais de laminite adquirida naturalmente. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, Belo Horizonte, v. 5, n. 33, p. 613-619, maio 2013.

MURRA, R. D; DONHAM, D. ; CLARKSON, M. J.; FAULL, . B.; HUGHES, J. .; MANSON, F. J.; MERRIT, J. B.; RUSSEL, . B.; SUTRHERST, . E.; ARD, . R. Epidemiology of lameness in dairy cattle: description and analysis of foot lesions. **Veterinary Record**, v. 138, n. 24, p. 586-591, 1996.

NEWSOME, R. et al. Linking bone development on the caudal aspect of the distal phalanx with lameness during life. Journal Of Dairy Science, [S.L.], v. 99, n. 6, p. 4512-4525, jun. 2016. **American Dairy Science Association**. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-10202.

PUERTO, M.A. et al. The hidden cost of disease: ii. impact of the first incidence of lameness on production and economic indicators of primiparous dairy cows. Journal Of Dairy Science, [S.L.], v. 104, n. 7, p. 7944-7955, jul. 2021. **American Dairy Science Association**. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2020-19585.

SOUZA, Francisco Armando de Azevedo et al. Aspectos físicos e químicos da solução do pedilúvio em duas propriedades leiteiras em sistema “free stall” / Aspectos físicos e químicos da solução do pedilúvio em duas propriedades leiteiras em sistema “free stall”. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 7356-7371, 27 jan. 2022. South Florida Publishing LLC. http://dx.doi.org/10.34117/bjdv8n1-496.

TSUKA, T. *et al*. Quantitative evaluation of bone development of the distal phalanx of the cow hind limb using computed tomography. **Journal Of Dairy Science**, [S.L.], v. 95, n. 1, p. 127-138, jan. 2012. American Dairy Science Association. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2011-4316.

VAN AMSTEL, S. R. et al. Measurement of the thickness of the corium and subcutaneous tissue of the hind claws of dairy cattle by ultrasound. **Veterinary Record**, [S.L.], v. 155, n. 20, p. 630-633, nov. 2004. Wiley. http://dx.doi.org/10.1136/vr.155.20.630.

ZOBEL, G. *et al*. Seeing beyond gait: a case study identifying chronic laminitis in 3 goats. Small Ruminant Research, [S.L.], v. 227, p. 107068, out. 2023. **Elsevier BV**. http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2023.107068.

CAPÍTULO 3 ARTIGO FORMATADO DE ACORDO COM AS NORMAS DO JOURNAL OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF BIOMEDICAL MATERIALS

ANÁLISE COMPARATIVA DE TRAÇÃO E COMPRESSÃO NOS CASCOS DE BOVINOS: DIFERENÇAS ENTRE ANIMAIS SAUDÁVEIS E COM AFECÇÕES PODAIS

CRISTIANE C. SALATIEL[1]; HUGO S. TOMA[1]; DJEISON L. RAYMUNDO [2]; ANTONIO C. C. LACRETA JUNIOR[3]; CLAUDIA D. M. TOMA; ELIEL A.S. NEVES; FÁBIO L. SANTOS

1 Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, Universidade Federal de Lavras – UFLA
2 Curso de Medicina Veterinária, Centro Universitário de Lavras – UNILAVRAS
3 Departamento de Medicina Veterinária, Universidade Federal de Lavras – Minas Gerais, Brasil.

Correspondente
Cristiane da Costa Salatiel, Universidade Federal de Lavras – Minas Gerais, Brasil.
Email: Cristiane.salatiel@estudante.ufla.br

RESUMO

O presente estudo investigou a resistência biomecânica dos cascos de bovinos, ressaltando sua relevância para a saúde animal, o manejo pecuário e a produtividade. Foram realizadas análises específicas de resistência em amostras provenientes da muralha e da sola dos cascos, utilizando diferentes tipos de ensaio: tração na muralha e compressão na sola. Para garantir a consistência nos resultados, as amostras foram preparadas de forma padronizada, moldadas em formato retangular com dimensões aproximadas de 30 mm de comprimento, 4 mm de altura e 10 mm de largura. Esse procedimento visou minimizar a variância entre os grupos e permitir uma comparação mais precisa dos dados biomecânicos. O objetivo deste estudo é comparar a resistência à compressão da sola e à tração da muralha em cascos de bovinos pertencentes a diferentes grupos, incluindo membros com diversas afecções podais, como Dermatite Digital (DD), Hiperplasia Interdigital (HI), Erosão de Talão (ET), Tesoura (TE), além do grupo controle. A análise busca identificar diferenças biomecânicas entre os grupos, fornecendo informações relevantes sobre a influência dessas condições na resistência estrutural dos cascos. Para a realização dos ensaios utilizou-se a máquina de ensaio universal mecânico de bancada da Série EMIC 23 da marca Instron ®, modelo EMIC 23-20. Dentre as variáveis analisadas no ensaio de compreensão, a tensão à compreensão em máximo de carga (Mpa) apresentou uma diferença estatística de p= 0,003. Para o ensaio de tração apenas a variável de Deformação à tração em máximo de carga apresentou p = 0,013. Dentre esses resultados o grupo com HI

apresentou maior fragilidade nos cascos. Este estudo representa um passo inicial para o avanço do conhecimento na área, provendo valores que podem servir como referência para os parâmetros analisados, sendo fundamental a realização de novas pesquisas para aprofundar os achados.

Palavras – chaves: Biomecânica; Resistencia; Estojo Córneo.

1 INTRODUÇÃO

As doenças podais são uma das principais causas de prejuízos à bovinocultura, comprometendo o bem-estar animal e gerando perdas econômicas (SILVEIRA et al., 2018). A claudicação, provocada por alterações no sistema locomotor, pode ter origem por anomalias congênitas, infecções, problemas metabólicos ou traumas (ERICKSON et al., 2024). Manter cascos saudáveis e resistentes é essencial para o bem-estar e a eficiência produtiva dos bovinos. O conhecimento da anatomia e da morfometria do estojo córneo é crucial para diagnosticar, tratar e prevenir enfermidades, sendo sua resistência influenciada por fatores como nutrição, manejo, genética e condições ambientais que influenciam diretamente sua integridade **(**LANGOVA et al., 2020**).**

Os cascos de bovinos têm a função de proteger fisicamente os tecidos subjacentes, atuando como uma barreira contra impactos e prevenindo danos às falanges (WANG et al., 2020). Os estojos córneos de bovinos são divididos em dois dígitos, a distribuição de peso nos membros posteriores ocorre principalmente sobre as unhas laterais, cerca de 80% (MOHAMADNIA; KHAGHANI, 2013). Dessa, forma compreender a resistência das unhas laterais é essencial.

Estruturalmente os cascos dos bovinos são compostos por estruturas que se relacionam, buscando a manutenção, saúde e equilíbrio dos três tecidos constituintes, que são, epiderme, derme e o tecido subcutâneo (TULIO, 2006). A epiderme é a porção externa queratinizada dos dígitos, é uma camada avascular, sua nutrição é realizada por difusão a partir da derme (ALBUQUERQUE, 2023). A camada dérmica tem a capacidade fornecer nutrientes, como, vitaminas, minerais e hormônios que são necessários para ocorrer a cornificação, logo, a derme tem capacidade de controla o processo de queratinização (TOMLINSON; MULLING; FAKLER, 2004). Quando o fornecimento de nutrientes está comprometido, por alguma lesão no tecido, leva a produção de cascos de baixa qualidade, com suscetibilidade a distúrbios nos cascos (MULLING et al., 1999).

Franck et al.(2006) analisou a elasticidade do estojo córneo de bovinos, em duas regiões, concluído que a elasticidade do bulbo é maior quando é comparada com a elasticidade da muralha. Segundo Wang et al. (2020), os cascos de bovinos possuem camadas com funções específicas: a camada externa, formada por queratina laminada, absorve energia; a

intermediária difunde força e energia da deformação; e a interna protege o tecido dérmico, funcionando como uma camada de transição.

A análise de tração mede a resistência das fibras do objeto à separação ou estiramento. Essa propriedade é crucial para avaliar a integridade da muralha, que suporta o peso do animal e enfrenta forças externas durante a locomoção. A análise de compressão avalia a capacidade do objeto em resistir a forças de esmagamento ou pressão (CARUSO, 2015). É essencial para garantir o suporte adequado ao peso corporal do bovino e a proteção das estruturas internas do casco.

O objetivo deste estudo é avaliar e comparar a resistência dos cascos de bovinos entre um grupo controle (saudável) e grupos com afecções podais. Para isso, serão realizadas análises de tração na muralha dos cascos e de compressão na sola, buscando compreender as diferenças estruturais e funcionais entre os grupos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Coleta das Peças anatômicas

As peças foram recolhidas em frigoríficos parceiros do sul de Minas Gerais. Conforme os animais eram abatidos, o frigorífico descartava os membros ao nível da articulação metatarso falangeana que apresentavam algumas doenças podais. O acesso à seleção dos cascos era restrito às peças descartadas pelo fiscal de Inspeção Federal do frigorífico. Devido a essa limitação, não foi possível identificar a raça ou a idade dos animais, embora fossem de raças voltadas para a produção de carne.

Foram coletadas apenas peças dos membros posteriores, visto que esses apresentam maior predisposição a doenças podais. Dessa forma, foi possível formar cinco grupos, cada um com 10 membros, exceto o grupo de cascos em tesoura (TE), que contou com 7 membros. Os grupos foram classificados como: cascos com dermatite digital (DD), hiperplasia interdigital (HI), erosão de talão (ET), grupo controle (SA) e cascos em formato de tesoura (TE).

Os cascos eram selecionados quando havia a presença de alterações podais. As doenças dos cascos foram classificadas conforme é descrito nas enfermidades podais do atlas International Committee for Animal Recording (ICAR, 2020).

2.2 Preparação das amostras

As peças foram congeladas em freezer 20°C e retiradas 1 dia antes para descongelar e realizar os processos de ensaios de resistência. Os cascos foram cortados ao meio em forma de faixa, com o auxílio de uma serra fita, no qual cada animal teve sua muralha e sola separadas (figura 1). Com o objetivo de ter menor variância nos resultados, cada muralha e sola foram cortadas em tamanhos semelhantes em formatos de blocos retangulares, para ter uma amostra mais homogênea. Para esquadrar as amostras, teve-se o auxílio de uma lixadeira elétrica. Em todos os cascos, era realizada a demarcação das medidas com o auxílio de um paquímetro elétrico. Todas as muralhas eram cortadas 2 cm após o ápice, e a sola também era cortada 2 cm após a linha branca; isso foi realizado para obter amostras mais centrais destas regiões. Todas as amostras foram delimitadas sua largura, comprimento e espessura. Os valores foram aproximados, tendo como base, comprimento (c) de 30 mm, altura (a) 4 mm e largura (l) 10 mm.

Figura 1: Ilustração dos cascos que foram utilizados no experimento. A fita vermelha está identificando o local que foi separado a muralha da sola. O colchete verde identifica o espaçamento de 2 cm para realização da coleta da amostra. Os retângulos amarelos identificam o local da coleta das amostras

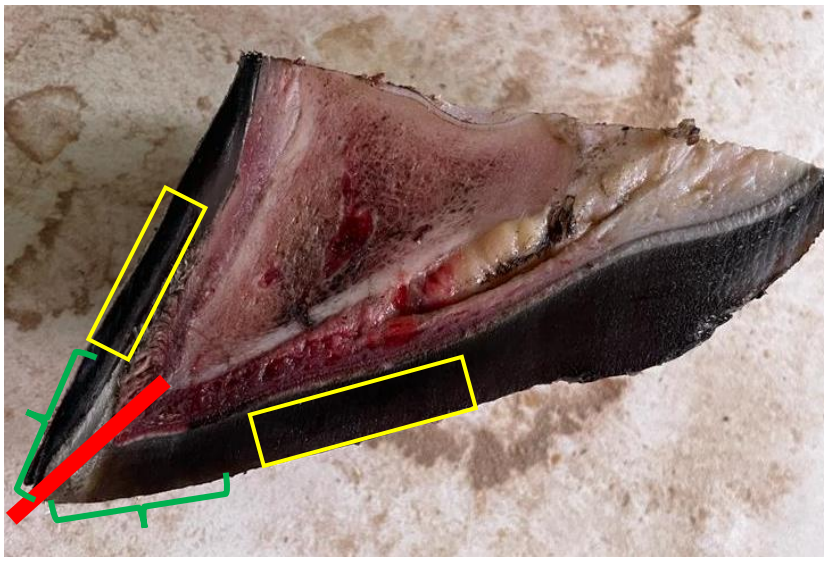
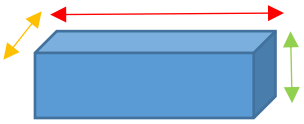


Figura 2 : Desenho esquemático do modelo em que as amostras dos cascos foram cortadas e ajustadas. Seta vermelha representa o comprimento (30 mm), seta verde à altura (4 mm) e seta laranja a largura (10 mm).



2.3 Ensaio de resistência

Para a realização dos ensaios utilizou-se a máquina de ensaio universal mecânico de bancada da Série EMIC 23 da marca Instron ®, modelo EMIC 23-20. Os ensaios foram conduzidos e configurados a partir do Software Bluehill ®. Esse modelo descrito foi utilizado tanto para os ensaios de compressão (Figura 3) quanto para ensaios de tração (Figura 4). Para a análise de tração a máquina foi configurada com uma célula de carga da marca Instron® com capacidade de 20 KN.

Figura 3: Modelo da garra utilizada na análise de compressão.

Fonte: Instron, 2023.

Figura 4: Modelo da garra utilizada para o ensaio de tração da muralha.

O estudo de tração foi realizado sobre as amostras das muralhas dos cascos dos animais. Foi aplicado uma força de tração até o momento em que ocorresse o rompimento das amostras ao meio, esse foi o critério de mensuração da força máxima de tração (Mpa).

2.4 Parâmetros analisados no ensaio de compressão pelo Software Bluehill ®.

Deslocamento à compressão em Máximo de Carga (mm); Tempo em Máximo Carga (s); Tensão à compressão em Máximo Carga (Mpa); Energia em Máximo Carga (N) representando a força máxima em que o casco suporta; Módulo (Young automático) (Mpa) que descreve sua rigidez e resistência à deformação, ou seja sua elasticidade.

2.5 Parâmetros analisados no ensaio de tração pelo Software Bluehill ®.

Máximo Carga (N); Deslocamento à tração em Máximo Carga (mm); Deformação à tração (Deslocamento) em Máximo Carga (mm/mm); Tensão à tração em Máximo Carga (Mpa) demostra o limite de resistência do casco; Tenacidade em Máximo Carga (N) que representa a força máxima que teve sobre o casco.

3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Inicialmente foi avaliada a normalidade da distribuição dos dados com o teste de Shapiro-Wilk. Também foi realizado o teste Dwass-Steel-Crichtlow-Fligner para fazer comparação múltipla dos grupos estudados. O teste Post Hoc (Tukey HSD) foi realizado para examinar todas as comparações pareadas relevantes entre grupos. Sendo considerada significância resultados de $P < 0.05$. As análises estatísticas foram realizadas no programa Jamovi 59roject ®.

4 RESULTADOS

4.1 Resultados das análises de compressão da sola.

Tabela 1 : Estatística descritiva do ensaio de análise de compressão da sola do casco dos grupos estudados em Módulo Yong automático (Mpa).

Estatística Descritiva

	Grupo	N	Omisso	Média	Mediana	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
Módulo (Young automático) (Mpa)	**Controle**	10	0	116.4	101.5	44.4	66.5	208
	Erosão de talão	10	0	97.2	102.1	26.2	38.3	125
	Dermatite digital	10	0	111.8	113.8	18.6	89.4	142
	Hiperplasia interdigital	9	1	96.3	83.9	24.4	72.1	149
	Tesoura	7	0	117.0	97.2	37.9	75.4	175

Dentre as variáveis avaliadas no ensaio de compressão apenas a tensão à compressão em máximo de caga apresentou diferença significativa. O Gráfico 1 apresenta diferença de DD com HI. O grupo DD apresenta valores similares ao grupo controle e pouca variabilidade, já o grupo HI apresenta menores valores a tensão à compressão.

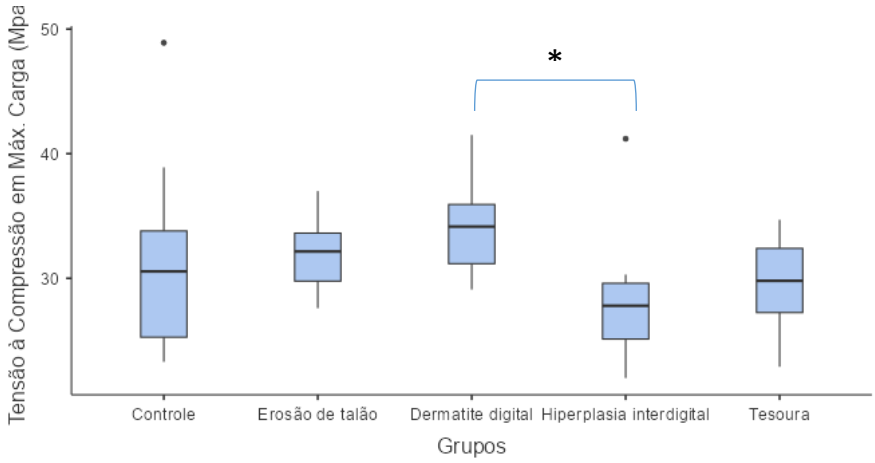
Tabela 2: Teste de Normalidade (Shapiro-Wilk) para Variáveis Biomecânicas de Compressão nos Cascos de Bovinos.

Teste à Normalidade (Shapiro-Wilk)

	W	p
Deslocamento à Compreensão em Máx. Carga(mm)	0.958	0.093
Deslocamento de tempo em Máx. Carga (s)	0.959	0.94
Tensão à Compreensão em Máx. Carga (Mpa)	0.920	0.003 **
Energia em Máx. de Carga (N)	0.979	0.551
Módulo (Young automático) (Mpa)	0.963	0.154

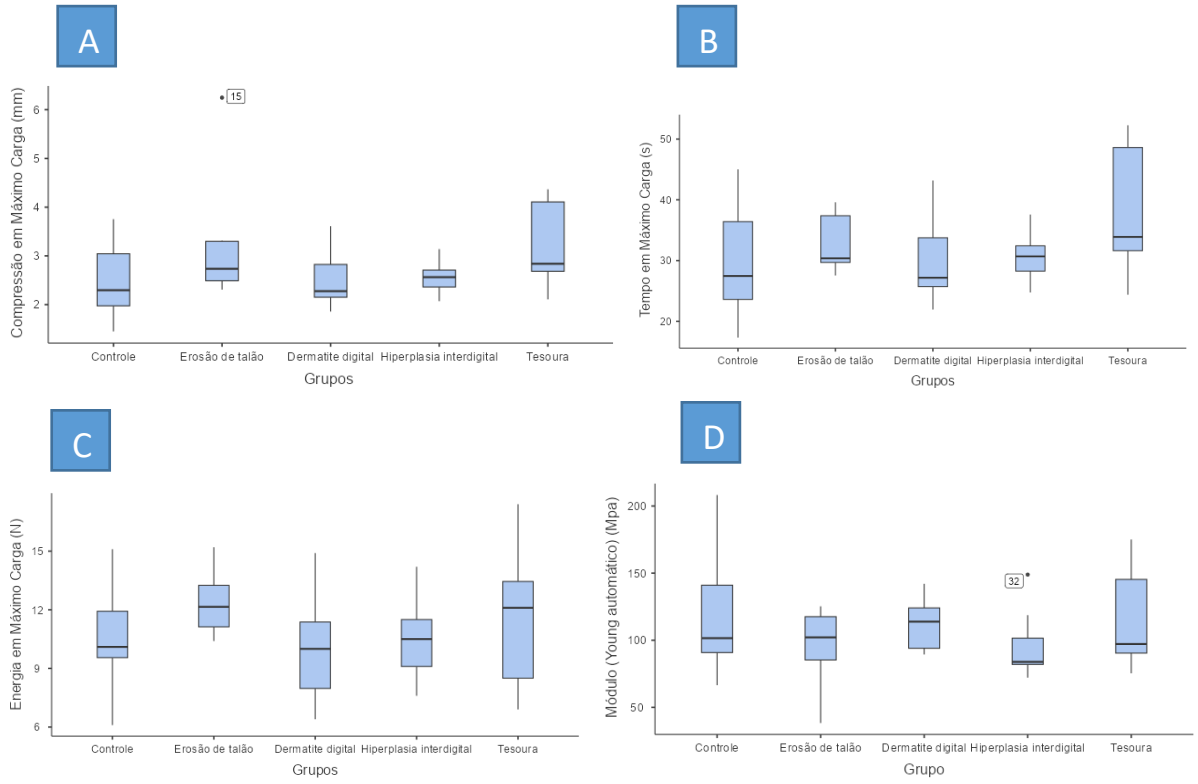
Legenda: mm mm (milímetros); s (segundos);
Mpa (Megapascal); N (Nilton). Máx (Máximo) ** p<0,05.

Gráfico 1: Tensão à compreensão em Máxima de carga (Mpa)



Legenda: * p= 0,027

Figura 5: Resultados das Variáveis biomecânicas analisadas no ensaio de compreensão da sola. (A) Compreensão em Máximo de Carga (mm); (B) Tempo em máximo de carga (s); (C) Energia em máximo de carga (N); (D) Modelo Yong automático (Mpa).



4.2 Resultados das análises de tração da muralha.

Dentre as variáveis avaliadas no ensaio de tração da muralha, apenas a carga de deformação à tração apresentou uma diferença significativa com (p = 0,013).

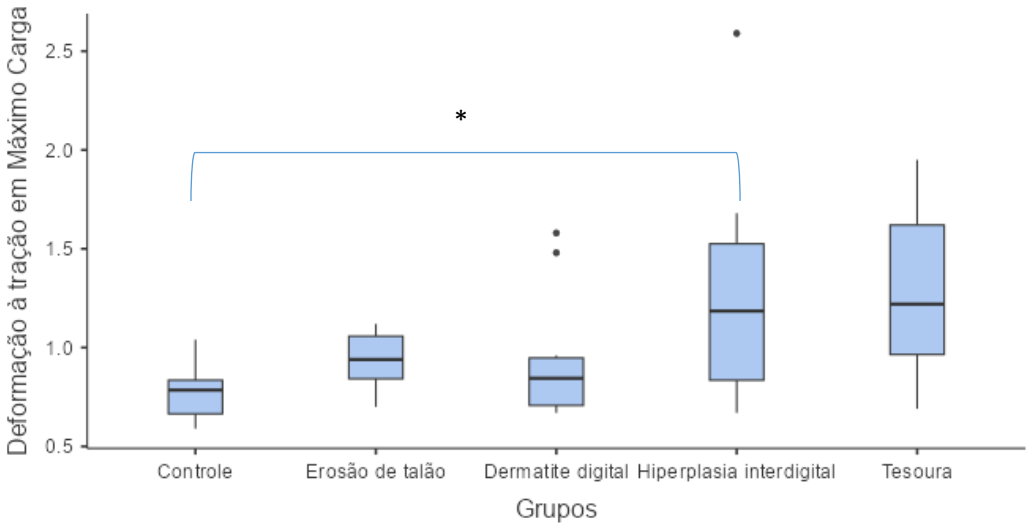
Tabela 3 : Teste à normalidade (Shapiro-Wilk) de variáveis biomecânicas para tração da muralha do casco.

Teste à Normalidade (Shapiro-Wilk)

	W	p
Tração- Máximo Carga (N)	0.968	0.223
Deslocamento à tração/ Máximo Carga (mm)	0.976	0.453
Deformação à tração em Máximo Carga	0.936	0.013 **
Tensão à tração em Máximo Carga (Mpa)	0.960	0.112
Energia em Máximo Carga (J)	0.976	0.434
Tenacidade em Máximo Carga (N)	0.968	0.223

Nota. Um p-value pequeno sugere a violação do pressuposto da normalidade
** P<0,05

Gráfico 2: Deformação à tração em máximo de carga (Mpa).



* p= 0,033

De acordo com o Teste Post-Hoc (Tukey HSD) sobre os dados de deformação a tração as análises de múltiplas comparações revelaram diferenças significativas entre os grupos HI e controle (C) com valor de (p = 0,033).

Figura 6 : Resultado das variáveis Biomecânicas analisadas no ensaio de tração da muralha. (A) Tração em Máximo de carga (N); (B) Deslocamento à tração Máximo Carga (mm); (C) Tensão a tração em Máximo de carga (Mpa); (D) Energia em Máximo de carga (J); (E) Tenacidade em Máximo de carga (N).

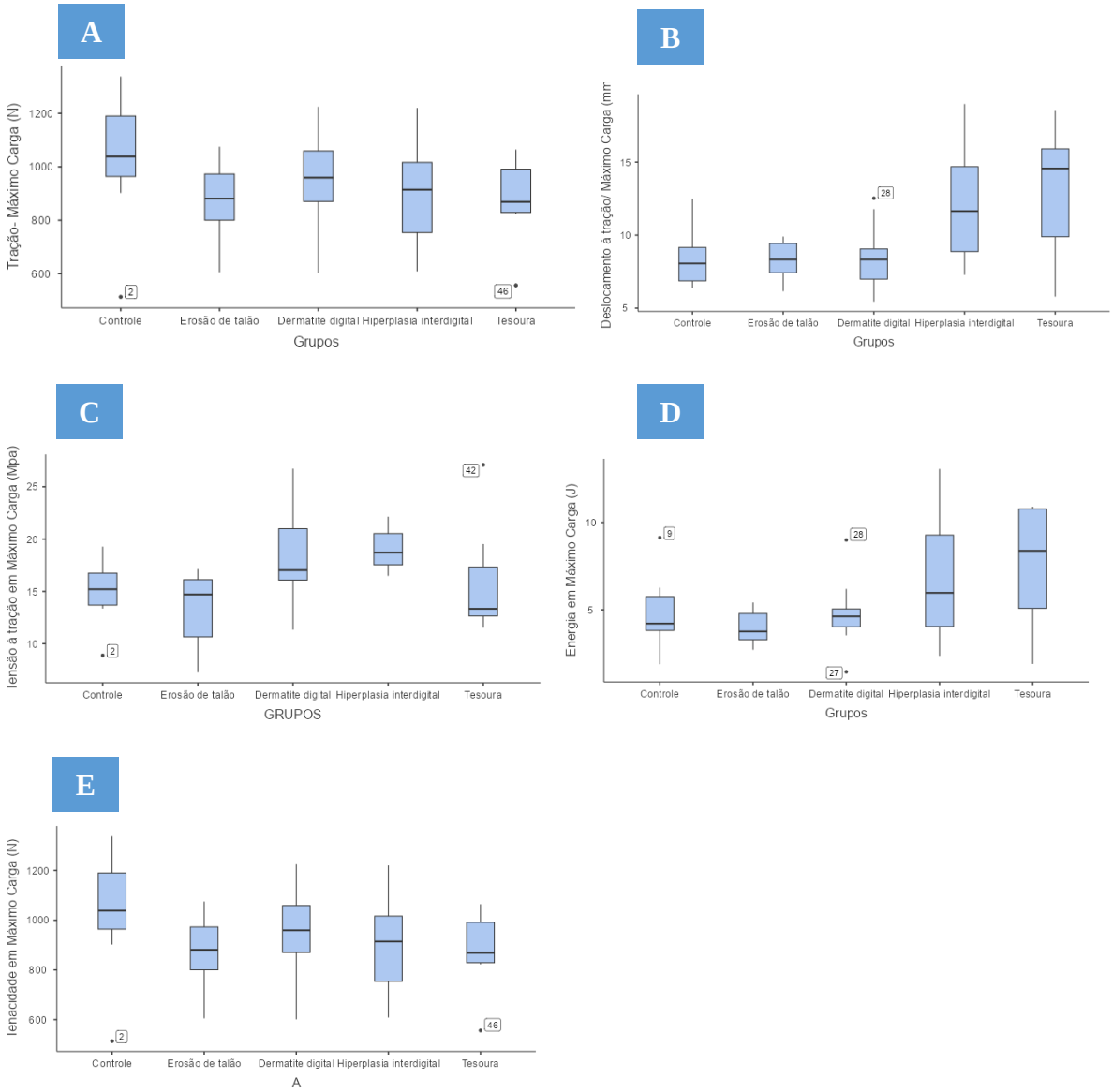


Tabela 4: Apresentação dos resultados da análise de tensão em Máximo de carga dos ensaios de tração e compreensão.

Estatística Descritiva		Tensão à Compressão em Máx. Carga (Mpa)	Tensão à tração em Máximo Carga (Mpa)
Grupos	**N**	**Máximo**	**Máximo**
Controle	10	48.9	19.3
Erosão de Talão	10	37.0	17.1
Dermatite Digital	10	41.5	26.7
Hiperplasia Interdigital	10	41.2	22.1
Tesoura	7	34.7	27.1

Tabela 5 : Comparação dos resultados de tensão à compreensão e tração em máximo de carga (Mpa).

Teste t para amostras emparelhadas

			Estatística	gl	p
Tensão à Compressão em Máx. Carga (Mpa)	**Tensão à tração em Máximo Carga (Mpa)**	**t de Student**	5.07	4.00	0.007

Nota. H_a $\mu_{\text{Medida 1 - Medida 2}} \neq 0$

5 DISCUSSÃO

Estudar a resistência dos cascos de bovinos é de grande importância por diversas razões, especialmente no contexto da saúde e bem-estar animal, do manejo pecuário e da produtividade. Para a realização dos exames de resistência, realizamos cortes das peças em formato retangular, com medidas o mais homogêneas, a fim de reduzir a variância nos resultados, conforme descrito no estudo de Bonney *et al.* (2024) sobre as propriedades viscoelásticas das paredes dos cascos equinos. Essa técnica de lixar e preparar as amostras em tamanhos o mais uniformes possível também foi adotada por Wang et al. (2020).

Os cascos são compostos por queratina. O estudo de Wegst *et al*. (2004) demonstra que a queratina é um dos materiais biológicos mais resistentes, apresentando alta tenacidade. Já no estudo de Wang *et al.* (2020), é mencionado que os cascos são compostos por proteínas orgânicas mais fortes do que outros materiais biológicos com alto teor mineral, como, por exemplo, os dentes. Esses achados estão alinhados com os resultados do presente estudo, que

revelou um elevado valor de compressão da sola, com um módulo de Young de 208 MPa, equivalente a 2.121,01 kgf/cm² após conversão.

O estudo de Franck et al. (2006) avaliou a tensão à compressão nas regiões do bulbo do talão e da muralha, apresentando valores de compressão variando entre 380 Mpa e 710 Mpa na região do bulbo do talão e entre 72 Mpa e 254 Mpa na região da muralha. No presente estudo esses valores de compreensão se difere, pois, as regiões de coleta das amostras foram mais central a sola apresentando valores entre 34 Mpa a 48 Mpa. Contudo, é importante destacar que essas comparações não podem ser diretamente relacionadas, uma vez que se trata de análises realizadas em diferentes regiões anatômicas.

Dentre as variáveis avaliadas no ensaio de compressão, apenas a tensão à compressão em máxima carga (Mpa) apresentou diferença significativa ($p = 0,003$). Na análise descritiva dessa variável, o gráfico 1 destaca uma diferença marcante entre os grupos DD e HI, com ($p = 0,027$). O grupo HI se destaca com os menores valores de tensão à compressão e maior frequência de valores baixos, indicando maior fragilidade estrutural nesse contexto, já a DD apresenta uma mediana de tensão à compressão mais alta, em torno de 35 Mpa, com baixa dispersão.

Animais expostos a ambientes com pisos irregulares e pastagens íngremes, onde pedras e capim seco causam irritação no espaço interdigital, estão sujeitos ao desenvolvimento de hiperplasia interdigital (ALVIM et al., 2005). Essa condição expõe os cascos desses animais a ambientes adversos, que favorecem o desgaste e podem comprometer a resistência estrutural dos cascos, tornando-os mais vulneráveis a danos e deformações.

A dermatite digital tem sua etiologia considerada como polimicrobiana, com predomínio das bactérias espiroquetas da espécie *Treponema sp*. (MOREIRA et al., 2018). Essas bactérias exibem a forma de bastonetes, são gram-negativas e produzem uma toxina queratolítica, que prejudica a queratina dos cascos (SOUZA et al., 2022). De acordo com a patogenia da dermatite digital, animais com essa alteração terão cascos mais frágeis, ou seja, suportam menos compressão que os demais, porém, isto não foi observado no presente estudo nos ensaios de tração e compressão.

Clark e Petrie (2007) realizaram um estudo comparativo para avaliar a tenacidade de cascos saudáveis, sem lesões, em relação a cascos com fissuras. Os resultados indicaram que não houve diferença significativa na tenacidade entre os dois grupos, sugerindo que a presença de fissuras não alterou de forma substancial essa propriedade biomecânica dos cascos. Isso

corrobora com o presente estudo, pois a variável de tenacidade à tração também não apresentou diferenças significativas (p = 0,112). Sugerindo que a presença de cascos com fissuras ou lesões não comprometeu diretamente essa propriedade mecânica dos cascos.

A Figura 5 apresenta os resultados das variáveis biomecânicas analisadas relacionadas à compressão. As variáveis citadas na figura não apresentaram diferenças significativas entre os grupos comparados no estudo. Isso sugere que os grupos DD, HI, ET e TE não apresentam cascos com resistência inferior ao grupo controle, quando se compara a deslocamento a compressão em máxima carga (mm), tempo em máxima carga (s), energia em máxima carga (N) e módulo de Young automático (MPa).

Dentre as variáveis avaliadas no ensaio de tração da muralha, apenas a carga de deformação à tração apresentou uma diferença significativa com valor de p = 0,013. O Gráfico 2 apresenta a análise descritiva dessa variável, na qual é possível observar que os grupos HI apresentaram maior deformação, com maior dispersão dos dados em comparação ao grupo controle com intervalo de confiança de 95% (p = 0,033), que não exibiu grandes variações na deformação. Outliers são visíveis nos grupos Hiperplasia Interdigital, sugerindo casos extremos de maior deformação. Esses resultados demonstram que os cascos de HI são mais frágeis à deformação comparado aos demais grupos.

No estudo de Clark e Petrie (2007), a variável energia de tenacidade à fratura apresentou valores de 8.483 J/m² para cascos fissurados e 8.182 J/m² para cascos não fissurados, sem diferença estatisticamente significativa (p = 0,69). Esses achados são semelhantes aos resultados do presente estudo, onde a variável energia em máxima carga (J) também não mostrou diferença significativa (p = 0,434) entre os grupos estudados.

Danscher et al. (2010) realizaram um experimento utilizando sobrecarga de oligofrutose em novilhas para induzir sinais clínicos de laminite. Paralelamente, conduziram testes biomecânicos nos cascos para investigar se as alterações nas lâminas decorrentes da laminite comprometeriam a força máxima (N) suportada pelos cascos. O estudo comparou bovinos saudáveis com bovinos submetidos à sobrecarga de oligofrutose, e os resultados biomecânicos não mostraram diferenças significativas entre os grupos. No presente estudo as análises de força em tração máxima (N) também não apresentaram diferenças estatísticas entre os grupos estudados (p= 0,223) (Tabela 3). Isso demonstra que as afecções podais estudadas não interferem na variável biomecânica de força dos cascos.

A Tabela 4 apresenta os valores máximos de carga de tensão que os cascos suportaram nos ensaios de tração e compressão. Corroborando com esses dados, a Tabela 5 exibe os resultados do teste t de Student, evidenciando a diferença significativa entre as análises ($p = 0,07$). Esses resultados mostram que a sola dos cascos foi capaz de suportar uma tensão maior em comparação à tensão à tração observada na muralha.

No estudo de Douglas et al. (1996), realizado em equinos, foram registrados valores médios de tensão à tração (728 MPa) e à compressão (764 MPa) nas amostras da muralha. Em comparação, os resultados deste estudo mostram que a tensão à tração na muralha de bovinos apresenta valores menores respectivamente entre 19 à 27 Mpa.

6 CONCLUSÃO

Os resultados do presente estudo ressaltam a relevância de investigar a resistência biomecânica dos cascos de bovinos, especialmente em função das condições adversas às quais esses animais frequentemente estão expostos. Foram observadas diferenças significativas em alguns parâmetros, como a carga de deformação à tração, que se mostrou maior nos animais com hiperplasia interdigital (HI), indicando uma fragilidade estrutural em comparação ao grupo controle. Além disso, as análises de tensão à compressão evidenciaram uma diferença entre os grupos DD e HI, reafirmando a maior fragilidade estrutural do grupo HI. Por outro lado, as demais variáveis biomecânicas relacionadas à compressão e tração não apresentaram diferenças significativas entre os grupos, sugerindo que, de modo geral, as alterações podais avaliadas (DD, HI, ET e TE) não comprometem de forma substancial a resistência dos cascos. Este estudo representa um avanço inicial no entendimento das propriedades biomecânicas dos cascos de bovinos, destacando a importância de mais pesquisas para explorar detalhadamente os impactos das afecções podais na resistência dos cascos e suas implicações no manejo e na saúde dos animais.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Laísa Bastos. **LAMINITE EM BOVINOS**: o que sabemos e o que falta saber? 2023. 49 f. Monografia (Especialização) - Curso de Medicina Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

ALVIM, N. et al. **REVISTA CIENTÍFICA ELETRÔNICA DE MEDICINA VETERINÁRIA** PERIODICIDADE SEMESTRAL -EDIÇÃO NÚMERO 5 -JULHO DE 2005 -ISSN 1679-7353 HIPERPLASIA INTERDIGITAL EM BOVINOS. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/kN6an080Evw3r2w_2013-5-20-11-46-43.pdf>.

BONNEY, Christian et al. Viscoelastic properties of the equine hoof wall. Acta Biomaterialia, [S.L.], v. 184, p. 264-272, ago. 2024. **Elsevier BV**. http://dx.doi.org/10.1016/j.actbio.2024.06.022.

BORGES, L. C., LEONARDO, A. S., BARRETO-VIANNA, A. R., BORGES, J. R. J., CASTRO, M. B., & LIMA, E. M. Morphoquantitative description of bovine digital cushion. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, 35(7), 671-676. 2015

CARUSO, Juliana Gutierrez. **Desenvolvimento numérico-experimental de corpos de prova aplicáveis a ensaios de tração, compressão e torção de polímeros**. 2015. 174 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, São Bernardo do Campo, São Bernardo do Campo, 2015.

CLARK, Chris et al. Fracture toughness of bovine claw horn from cattle with and without vertical fissures. **The Veterinary Journal**, [S.L.], v. 173, n. 3, p. 541-547, maio 2007. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.tvjl.2006.02.002.

DANSCHER, A.M. et al. Biomechanics and histology of bovine claw suspensory tissue in early acute laminitis. **Journal Of Dairy Science,** [S.L.], v. 93, n. 1, p. 53-62, jan. 2010. American Dairy Science Association. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2009-2038.

DOUGLAS, J. E. et al. The Modulus of Elasticity of Equine Hoof Wall: implications for the mechanical function of the hoof. **Journal Of Experimental Biology**, [S.L.], v. 199, n. 8, p. 1829-1836, 1 ago. 1996. The Company of Biologists. http://dx.doi.org/10.1242/jeb.199.8.1829.

ERICKSON, Sarah E. et al. A review of foot-related lameness in feedlot cattle. **Canadian Journal Of Animal Science**, [S.L.], v. 104, n. 4, p. 420-435, 1 dez. 2024. Canadian Science Publishing. http://dx.doi.org/10.1139/cjas-2024-0047.

FRANCK, A. et al. Biomechanical Properties of Bovine Claw Horn. Biosystems Engineering, [S.L.], v. 93, n. 4, p. 459-467, abr. 2006. **Elsevier BV.** http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.01.007.

GARGANO, Ronaldo Gomes**. Avaliação da metodologia holandesa de apara os casco de bovinos da raça nelore e fatores de influencia na morfometria dos digitos**. 2020. 146 f. Tese (Doutorado) - Curso de Medicina Veterinária, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

KASAPI, Mario A.; GOSLINE, John M.. Design Complexity and Fracture Control in the Equine Hoof Wall. Journal Of Experimental Biology, [S.L.], v. 200, n. 11, p. 1639-1659, 1 jun. 1997. **The Company of Biologists**. http://dx.doi.org/10.1242/jeb.200.11.1639

LANGOVA, Lucie et al. Impact of Nutrients on the Hoof Health in Cattle. **Animals,** [S.L.], v. 10, n. 10, p. 1824, 7 out. 2020. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/ani10101824.

Moreira T.F., Nicolino R.R., de Andrade L.S., Filho E.J.F. & de Carvalho A.U. 2018. Prevalence of lameness and hoof lesions in all year-round grazing cattle in Brazil. **Trop. Anim. Health Prod**. 50(8):1829-1834

MOHAMADNIA, Ahmadreza; KHAGHANI, Amin. Evaluation of hoof morphometric parameters at different times Pruning in dairy cows. **Veterinary Research Forum, Mashhad**, v. 4, n. 4, p. 245-249, jan. 2013.

MULLING, C. K. et al. How Structures in Bovine Hoof Epidermis are Influenced by Nutritional Factors. **Anatomia, Histologia, Embryologia**, [S.L.], v. 28, n. 2, p. 103-108, abr. 1999. Wiley. http://dx.doi.org/10.1046/j.1439-0264.1999.00180.x. Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia – Distrito de Rubião Jr., s/n, Botucatu, SP CEP 18618-970, Brasil. E-mail: celso.a.rodrigues@unesp.br

SILVEIRA, José A.s. et al. Estudo epidemiológico e clínico de afecções podais em bovinos de corte manejados extensivamente no sudeste do Pará. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, [S.L.], v. 38, n. 3, p. 367-373, mar. 2018. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/1678-5150-pvb-4411.

SOUZA, Francisco Armando de Azevedo et al. Aspectos físicos e químicos da solução do pedilúvio em duas propriedades leiteiras em sistema "free stall" / Aspectos físicos e químicos da solução do pedilúvio em duas propriedades leiteiras em sistema "free stall". **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 7356-7371, 27 jan. 2022. South Florida Publishing LLC. http://dx.doi.org/10.34117/bjdv8n1-496.

TÚLIO, Lívia Maria. **ESTUDO BIOMÉTRICO DO CASCO BOVINO E BUBALINO: AVALIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS ANÁTOMO-FISIOLÓGICAS DO CASCO SADIO**. 2006. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Medicina Veterinária, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

TOMLINSON, D. J.; MULLING, C. H.; FAKLER, T. M.. Invited Review: Formation of Keratins in the Bovine Claw: Roles of Hormones, Minerals, and Vitamins in Functional Claw Integrity. © **American Dairy Science Association**, Berlin, v. 87, p. 797-809, out. 2004.

WEGST, U. G. K. et al. The mechanical efficiency of natural materials. Philosophical Magazine, [S.L.], v. 84, n. 21, p. 2167-2186, 21 jul. 2004. **Informa UK Limited**. http://dx.doi.org/10.1080/14786430410001680935.

WANG, Bin et al. Keratin: structure, mechanical properties, occurrence in biological organisms, and efforts at bioinspiration. Progress In Materials Science, [S.L.], v. 76, p. 229-318, mar. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.pmatsci.2015.06.001.