



ESALQ

Universidade de São Paulo



Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Departamento de Zootecnia

*Utilização de câmeras para geração de algoritmos na estimativa de peso e
medidas corpóreas de bezerros da raça Holandês*

Giovanna Canela Ruiz Castro Evangelista

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheira Agrônoma

Piracicaba

Novembro/2024

Giovanna Canela Ruiz Castro Evangelista

*Utilização de câmeras para geração de algoritmos na estimativa de peso e
medidas corpóreas de bezerros da raça Holandês*

Orientadora:
Carla Maris Machado Bittar

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheira Agrônoma

Piracicaba

Novembro/2024

A Jesus, que tornou meu sonho de estudar na Gloriosa realidade. Ele me colocou em todos os caminhos que foram, com certeza, os melhores para minha evolução e aprendizado, caminhos esses que me fizeram chegar até aqui.

À minha família, por todo o amor e por estar ao meu lado durante toda a minha formação. Especialmente à minha mãe, Carla Inês Canela Ruiz, que me providenciou tudo que precisei e sempre foi meu porto seguro. Ao meu pai, Nilton de Castro Evangelista, que não deixou de me abençoar um dia sequer e procurou sempre me manter firme na minha fé.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de começar agradecendo primeiramente a Deus por planejar cada dia da minha vida e me permitir chegar onde hoje estou. Agradeço pela força, pela saúde e perseverança que Ele orquestrou em mim, nunca me deixando sozinha e proporcionando a cada dia um novo fôlego de vida. Ele foi minha rocha em meio às ondas deste mundo.

Agradeço à minha mãe, Carla Inês Canela Ruiz, que providenciou todas as ferramentas que precisei para continuar meus estudos, e além das ferramentas materiais ela me garantiu todo o amor, compreensão e apoio que eu precisei, sendo meu maior exemplo terreno.

Agradeço também ao meu pai, Nilton de Castro Evangelista, que todos os dias me abençoava para que Jesus viesse viver no meu lugar. Meu pai sempre esteve pronto para me ajudar quando eu lhe chamava, me dando milhares de dicas e conselhos diários, me instruindo como construir minha independência para resolver problemas diários, mas sempre sendo dependente de Deus.

Agradeço à minha irmã, Larissa, que sempre esteve presente nas minhas orações (e sei que eu nas dela) e me dava forças e ainda mais incentivo ao meu estudo, sempre me encorajando a ser diferente. À minha família, Cecília e Mário, meus segundos pais, que nunca me deixaram duvidar de seu orgulho por mim. Karina e Ticiana, minhas primas que me tiravam boas risadas e compartilharam excepcionais experiências de vida comigo.

Agradeço ao Rodrigo, meu primo, o anjo da família Ruiz, que me ensinou como é possível sorrir nos dias mais difíceis e obscuros que a vida pode ter. Rodrigo me deu a incrível missão de cuidar de seu presente, o cavalo chamado “tio” Felipe (in memoriam). Foi com esse cavalo que eu descobri minhas aptidões, paixões e até qual profissão seguir. À Maria, Teresa e Caio agradeço também por todo amor e confiança que depositaram em mim.

Agradeço à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” por permitir tornar-me uma esalqueana, tendo uma formação acadêmica de excelência em meio a um ambiente rico de história, orgulho ao passado, presente e futuro, repleto de ótimos professores, grupos de extensão sempre prontos para aperfeiçoar a formação prática dos estudantes e diversos outros

recursos. Foi nesta universidade que descobri minha paixão pela pesquisa e encontrei meu lugar no mundo.

Agradeço profundamente à minha orientadora, Professora Carla Maris Machado Bittar, que tornou realidade o meu sonho de estudar bovinocultura leiteira. Ela se tornou meu maior exemplo de profissionalismo e determinação dentro do meio acadêmico. Agradeço-lhe por todas as oportunidades e confiança que me foram concedidas.

Agradeço especialmente a todos os membros e estagiários do Clube de Criação de Bezerros (CCB-ESALQ), especialmente a todos que me ajudam na coleta dos vídeos utilizados neste trabalho, por todos os ensinamentos, empatia, amizade e ajuda durante minha formação na Gloriosa.

Agradeço ao Professor João Dórea da Universidade do Wisconsin por proporcionar o equipamento principal deste trabalho e todo o apoio e suporte possível. Ademais, ao seu doutorando Guilherme Lobato que esteve me orientando com todos os dados e procedimentos do início ao fim deste trabalho.

E por fim, gostaria de agradecer às minhas amigas, Mariana Pilar, Sofia Calil, Julia Martins e Cristiane Tomaluski, que foram mais do que simples companhias ao longo desta jornada. Com elas, aprendi o verdadeiro significado de amizade, de apoio incondicional e de companheirismo em cada momento, seja nos desafios ou nas conquistas. Sem o carinho, a força e a presença delas, este caminho seria muito mais árduo. Expresso aqui minha gratidão por cada momento.

“Um comportamento nunca ocorre num vácuo. Ele é o resultado final entre o ambiente, e tudo aquilo que o ambiente inclui, inclusive as pessoas”

Temple Grandin

&

“Seja a mudança que você quer ver no mundo”

Mahatma Gandhi

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE GRÁFICOS	11
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivos gerais	14
1.2 Objetivos específicos	15
2 MATERIAL E MÉTODOS	15
3 RESULTADOS	19
3.1 Peso Corporal	20
3.2 Largura da Garupa	20
3.3 Perímetro Torácico	21
3.4 Altura da Cernelha	22
4 DISCUSSÃO	23
5 CONCLUSÕES	27
REFERÊNCIAS	27
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	29

RESUMO

A pecuária leiteira tem sido apresentada a diversas novas tecnologias visando o aumento de produção, bem estar animal e otimização da cadeia produtiva. O presente trabalho propôs avaliar a confiabilidade do uso de câmeras para monitorar o peso e as medidas corporais de bezerros leiteiros de forma mais eficiente e menos estressante para os animais. Essa tecnologia visa otimizar o manejo, reduzir a mão de obra e melhorar a acurácia dos dados em comparação aos métodos tradicionais, como balanças e fitas de pesagem, contribuindo para a tomada de decisão e o aumento da produtividade na fazenda. O experimento foi conduzido com 72 bezerros da raça Holandês, nos quais foram realizadas, em média, quatro pesagens por animal, de forma alternada semanalmente, com o objetivo de monitorar o ganho de peso e a evolução das medidas corporais. Além das pesagens, foram coletados vídeos utilizando a câmera Intel RealSense D455, que posteriormente foram processados para gerar estimativas do peso e medidas dos animais. Os dados obtidos foram submetidos a análises estatísticas, incluindo uma regressão linear, a fim de comparar os pesos medidos na balança com aqueles estimados pela câmera, bem como as medidas de altura de cernelha e largura de garupa com a régua antropométrica e perímetro torácico com a fita medidora. Como resultado, observou-se que as estimativas de peso obtidas pela câmera apresentaram alta correlação ($R = 0,93$; $R^2 = 0,86$) com os pesos medidos na balança, indicando a viabilidade do uso dessa tecnologia como uma alternativa eficiente e precisa para o monitoramento do crescimento dos bezerros. Para as medidas corporais, a altura de cernelha teve $R = 0,86$ e $R^2 = 0,74$, a largura de garupa $R = 0,84$ e $R^2 = 0,71$, e o perímetro torácico $R = 0,86$ e $R^2 = 0,74$, sugerindo que o sistema automatizado pode ser uma ferramenta valiosa na prática de manejo de bezerras leiteiras. A implementação de um sistema automatizado de câmeras para monitoramento de bezerros resulta em boa precisão das medições, e também reduz o estresse associado ao manejo, contribuindo para o bem-estar animal e potencializando a eficiência da produção leiteira. Essa abordagem representa um avanço significativo na pecuária leiteira, com potencial para otimizar a tomada de decisões e aumentar a produtividade na fazenda.

Palavras-chave: peso, medidas, bezerros, câmeras, automação.

ABSTRACT

Dairy farming has witnessed several new technologies aimed at increasing production, animal welfare, and optimizing the production chain. This study aimed to evaluate the reliability of using cameras to monitor the weight and body measurements of dairy calves in a more efficient and less stressful way for the animals. This technology aims to optimize management, reduce labor, and improve data accuracy compared to traditional methods, such as scales and measuring tapes, contributing to decision-making and increasing productivity on the farm. The experiment was conducted with 72 Holstein calves, in which, on average, four weigh records per animal were performed biweekly, with the aim of monitoring weight gain and the evolution of body measurements. In addition to weight records, videos were collected using the Intel RealSense D455 camera, which were later processed to generate estimates of the weight and measurements of the animals. The data were subjected to statistical analyses, including linear regression, in order to compare the weights measured on the scale with those estimated by the camera, as well as withers height and rump width measurements using an anthropometric ruler, and thoracic circumference using a measuring tape. As a result, it was observed that the weight estimates obtained by the camera showed a high correlation ($R = 0.93$; $R^2 = 0.86$) with the weights measured on the scale, indicating the feasibility of using this technology as an efficient and accurate alternative for monitoring calf growth. For the body measurements, withers height had $R = 0.86$ and $R^2 = 0.74$, hip width $R = 0.86$ and $R^2 = 0.74$, and heart girth $R = 0.90$ and $R^2 = 0.81$, suggesting that the automated system can be a valuable tool in the management practices of dairy heifers. The implementation of an automated camera system for monitoring calves results in good accuracy of the measurements and reduces the stress associated with management, contributing to animal welfare and enhancing the efficiency of dairy production. This approach represents a significant advance in dairy farming, with the potential to optimize decision-making and increase productivity on the farm.

Keywords: weight, measurements, calves, cameras, automation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Interface do aplicativo Intel RealSense Viewer v2.56.2 utilizado para coleta dos vídeos para posterior extração dos <i>frames</i> de depth e raw.....	16
Figura 2: Exemplo de imagem de depth extraída dos vídeos coletados pela câmera Intel RealSense.....	16
Figura 3: Visualização da região de interesse após utilização de máscara no dorso do bezerro.....	17
Figura 4: Pesagem do bezerro sendo realizada na balança analógica do tipo gaiola.....	18
Figuras 5 e 6: Medições de garupa e altura de cernelha dos bezerros, feitas com régua antropométrica.....	18

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Regressão linear entre valores observados e preditos do peso corporal dos bezerros, em quilogramas.....	20
Gráfico 2 - Regressão linear entre valores observados e preditos da largura da garupa dos bezerros, em centímetros.....	21
Gráfico 3 - Regressão linear entre valores observados e preditos do perímetro torácico dos bezerros, em centímetros.....	22
Gráfico 4 - Regressão linear entre valores observados e preditos da altura de cernelha dos bezerros, em centímetros.....	23

1 INTRODUÇÃO

Ao final de 2022, o Brasil enfrentou um dos piores cenários para a produção leiteira nacional. De acordo com o balanço anual da Associação Brasileira do Leite Longa Vida (ABLV) e dados obtidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o leite inspecionado comprado pelos laticínios reduziu cerca de 4,9% em relação ao volume de 2021, demonstrando uma queda de 1,2 bilhão de litros no comércio. Esse cenário de queda sugere que cada vez mais os produtores sejam especializados e tecnificados, sempre buscando as melhores alternativas para baratear o custo de produção e aumentar sua produtividade.

Além disso, outro dado importante a ser avaliado é o aumento de 1,4 pontos percentuais na importação de leite em pó (de 4% em 2021 para 5,4% em 2022), mostrando ainda mais a queda da produção nacional, mesmo com os preços pagos ao produtor terem sido 14,2% superiores. Isso explica-se na combinação da alta nos custos de produção, clima desfavorável e a saída de muitos produtores da atividade, que somados, impediram que a produção nacional pudesse obter aumentos. Neste contexto, o fator mais significativo foi a saída de produtores da atividade leiteira, com queda de 18% de 2021 para 2023 no nº de produtores do Rio Grande do Sul (Emater), por exemplo, o que reflete o comportamento dos produtores como um todo no Brasil, de acordo com a MilkPoint Ventures, 2023.

Um dos maiores problemas enfrentados pelos produtores de leite é a falta de eficiência técnica nos sistemas da cadeia leiteira, índices zootécnicos deficitários, como idade à puberdade e idade ao primeiro parto atrasadas, e ainda, muitos desses índices coletados erroneamente ou nem mesmo coletados, atrasando assim a evolução do sistema e aumentando em demasia o custo de produção.

Um aspecto crítico que impacta significativamente a planilha de custos dos sistemas de produção de leite é a ineficiência na criação de fêmeas de reposição. A melhoria desses índices requer práticas rigorosas que assegurem o desenvolvimento saudável e o crescimento adequado das bezerras, desde a fase inicial até sua integração na fase produtiva.

Atualmente, as alternativas mais utilizadas para acompanhamento do peso do gado jovem são o uso da balança (quando presente na fazenda), capaz de conferir maior acurácia aos dados e da fita de pesagem, a qual apresenta menor acurácia. Esta última é utilizada de

modo a envolver o tórax do animal logo atrás das patas dianteiras para se fazer a estimativa do peso (HEINRICHS et al., 1987), devido à alta correlação entre a circunferência do tórax e o peso das bezerras.

Porém, neste contexto, as medições demandam tempo prolongado, acarretando em baixa prioridade de realização na fazenda, especialmente aquelas com grande número de animais e, em muitos casos, não asseguram a acurácia necessária. Além disso, é importante destacar como ponto negativo, o estresse imposto ao animal, resultante da alteração de seu ambiente original e do manuseio intensivo por parte de várias pessoas e instrumentos, o que pode impactar sua temperatura corporal, padrão respiratório e frequência cardíaca (ARNOLD et al., 1978).

Logo, surge a necessidade de alternativas capazes de oferecer ao produtor valores precisos e de alta confiabilidade somados a técnicas capazes de priorizar o bem-estar animal. Um grande exemplo é o uso de câmeras desenvolvidas para estimar medidas corpóreas de animais e peso.

A importância do monitoramento do peso de animais em um rebanho, ou mesmo diferenças de medidas corpóreas, se dá, principalmente, na fase da cria e recria no gado leiteiro, uma vez que as fazendas precisam monitorar se as dietas estão favorecendo o crescimento dos animais ou se há algum possível problema no processo (FERREIRA, 2020).

Portanto, o presente trabalho tem como finalidade mitigar as dificuldades associadas à pesagem de animais em crescimento por meio do uso de câmeras capazes de conferir dados confiáveis sobre peso e medidas corpóreas de bezerros leiteiros. Esta abordagem pressupõe menor dependência de mão de obra, menos contato direto com o animal, causando menores alterações nos seu estado físico e emocional, além de menor tempo para adquirir dados importantes para avaliação do crescimento dos animais, ajudando na tomada de decisão de diversos manejos.

Além disso, de acordo com Barbosa (2017), as medidas biométricas permitem a avaliação do desempenho dos animais, possibilitando a identificação de suas características genéticas e raciais, além de auxiliar na escolha dos tipos de animais mais adequados para diferentes sistemas de criação. Adicionalmente, os dados obtidos pelas câmeras seriam capazes de fornecer *insights* sobre as necessidades nutricionais, o estágio de maturidade

fisiológica e até mesmo a eficácia na reprodução.

Porém, devido a desconhecida, ou muito pouco estudada, confiabilidade dos dados provenientes dessa tecnologia, novas pesquisas devem adentrar ao assunto e procurar responder perguntas como:

- O quanto acurado é o dado mensurado pela câmera em comparação ao método tradicional do uso da balança para peso e do método da fita e réguas para medidas corpóreas de bezerros em aleitamento?
- As diferenças entre o custo de produção envolvendo câmeras e outros métodos realmente são significativas?
- Essa tecnologia possui falhas?

Dessa maneira, devido às dificuldades já conhecidas no trabalho da medição corporal e peso do gado jovem, o presente trabalho é proposto para facilitar a escolha do produtor no método que melhor se adeque ao seu sistema de produção.

De acordo com Dos Santos (2016), existem duas maneiras de reduzir os custos de produção, e em especial durante o aleitamento de bezerras, que seria: aumentar a eficiência de crescimento animal e diminuir a taxa de mortalidade. Como forma de otimizar o processo, o acompanhamento semanal do ganho de peso e crescimento das bezerras é de extrema importância para o manejo alimentar e para o estabelecimento de metas de criação e assim o entendimento da eficiência da fazenda (FERREIRA, 2020). Já na fase da recria, o objetivo seria, por exemplo, adiantar a idade ao primeiro parto, quando as novilhas deixariam de apenas gerar despesas para a fazenda e passariam a gerar receita ao sistema de produção (DOS SANTOS, 2016).

1.1 Objetivos gerais

Avaliar a acurácia entre o método tradicional de medição de medidas corpóreas e pesagem animal, tais como o uso de balança, fita de pesagem ou réguas, com o método através de imagens obtidas por uma câmera, além de realizar uma breve comparação entre os

aspectos financeiros.

Encontrar possíveis erros que a análise computacional pode apresentar, determinar quais as vantagens e desvantagens de seu uso e elaborar correções para melhorar a tecnologia.

Apresentar uma nova alternativa ao produtor de leite que facilite a coleta de dados na fazenda e otimize a tomada de decisão, permitindo a escolha do método de trabalho mais adequado às especificidades do seu sistema de produção.

1.2 Objetivos específicos

Este estudo teve como objetivo específico validar o uso de câmeras para o monitoramento do crescimento animal, com foco na estimativa de peso, altura de cernelha, largura de garupa e perímetro torácico. O projeto também buscou compreender por meio de análises estatísticas coeficientes de correlação e o erro médio obtido a partir dos dados preditos e observados.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O Comitê de Ética em Pesquisa em Animais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” / Universidade de São Paulo aprovou todos os procedimentos envolvendo animais neste estudo (Protocolo nº 3302140524).

O experimento foi conduzido na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo (ESALQ-USP), no bezerreiro experimental “Evilásio de Camargo”. Foram coletadas imagens de 72 bezerros da raça Holandês Preto e Branco, provenientes de fazendas leiteiras do interior do estado de São Paulo, parceiras do grupo de extensão “Clube de Criação de Bezerros” da ESALQ. Todos os animais tiveram suas medidas coletadas no período da manhã, antes do oferecimento da dieta líquida e as medições eram realizadas a partir do nascimento do bezerro e, em média, na segunda, quarta, sexta e oitava semana de vida do bezerro.

Para a coleta das imagens, a câmera Intel RealSense D455 foi posicionada sob a balança do tipo gaiola, normalmente utilizada para a pesagem dos bezerros. Dessa forma, ao

mesmo tempo que o peso real do animal era registrado pela balança mecânica (ICS-300, Coimma Ltda, Dracena-SP, Brasil), a câmera capturava a imagem correspondente (Figura 1). Adicionalmente, foram coletadas as seguintes medidas: largura da garupa, perímetro torácico e altura da cernelha. A largura da garupa foi medida com o auxílio de uma régua antropométrica de madeira, o perímetro torácico foi obtido com uma fita métrica, e a altura da cernelha também foi medida com a régua antropométrica. Todas as medidas corporais foram registradas em centímetros.

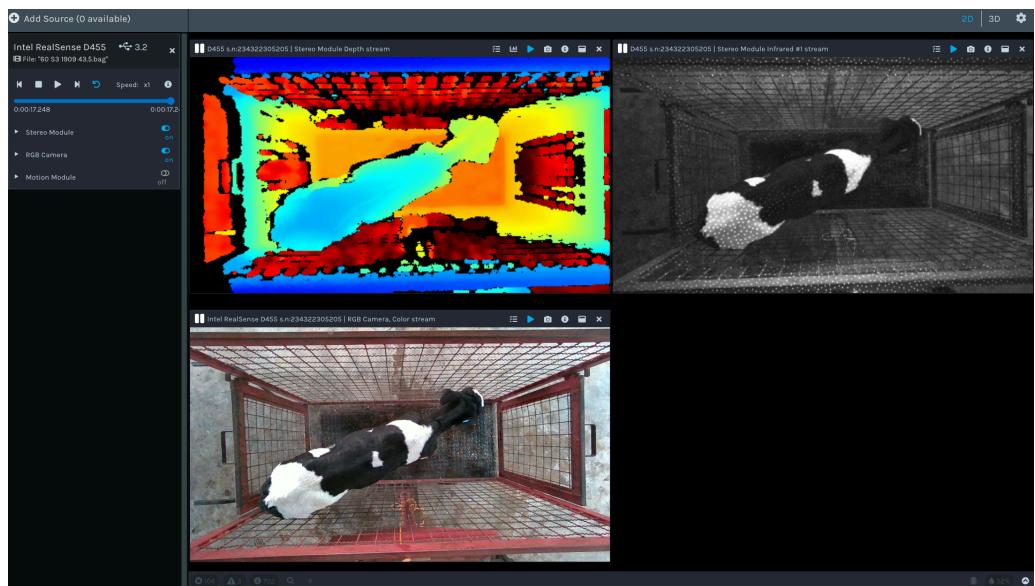


Figura 1: Interface do aplicativo Intel RealSense Viewer v2.56.2 utilizado para coleta dos vídeos para posterior extração dos *frames* de depth e raw.

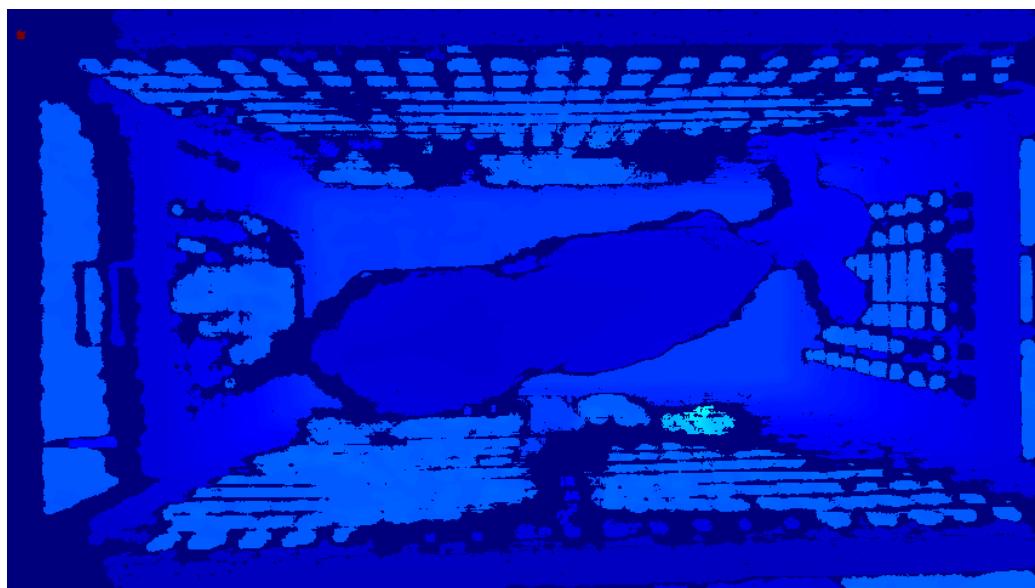


Figura 2: Exemplo de imagem de depth extraída dos vídeos coletados pela câmera Intel

RealSense D455.

Todos os vídeos coletados foram processados em linguagem *Python*, utilizando o ambiente *Spyder*. O primeiro passo envolveu a extração de 10 quadros/imagens por vídeo, seguido da segmentação manual, ou seja, foram desenhadas máscaras no programa CVAT delimitando a área de interesse, neste caso, o corpo do bezerro, como pode-se observar na Figura 3. Essas máscaras geradas foram utilizadas como dados de entrada (*input*) para o modelo de segmentação de imagens U-Net, permitindo seu treinamento para reconhecer o corpo do bezerro em todos os quadros automaticamente.



Figura 3: Visualização da região de interesse após utilização de máscara no dorso do bezerro.

Após a segmentação realizada pelo modelo, as máscaras geradas foram aplicadas nas imagens para isolar a área de interesse. A partir dessas regiões isoladas, diversas características foram calculadas com base nos pixels das máscaras, como área, volume, excentricidade, perímetro, entre outras medidas. Em seguida, essas medidas e as máscaras foram usadas como *input* em um modelo de regressão de inteligência artificial, que selecionava sete pontos sobre o corpo de cada animal para predizer o peso corporal, perímetro torácico, largura de garupa e a altura de cernelha dos bezerros. As medidas que entraram como *input* foram fundamentais para aprimorar a precisão do modelo, reduzindo o erro de predição.

Esses valores preditos foram comparados com as medidas reais obtidas manualmente

para avaliar a precisão do modelo. As variáveis comparadas incluíram peso corporal predito pela câmera e peso corporal real obtido pela balança (Figura 4); largura da garupa predita pela câmera e largura da garupa real obtida pela régua antropométrica (Figura 5); perímetro torácico predito pela câmera e perímetro torácico real obtido pela fita métrica (Figura 6); e altura da cernelha predita pela câmera e altura da cernelha real obtida pela régua antropométrica.



Figura 4: Pesagem do bezerro sendo realizada na balança analógica do tipo gaiola.



Figuras 5 e 6: Medições de garupa e altura de cernelha dos bezerros, feitas com régua antropométrica.

Para a análise estatística, foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson para verificar a força da relação linear entre as variáveis preditas e reais. O PROC CORR do software SAS 9.3 foi inicialmente utilizado para esta análise, mas o processamento e refinamento dos dados foi realizado no *Python*, utilizando as bibliotecas *Pandas* e *SciPy* para manipulação de dados e cálculo das correlações. Além disso, para cada comparação entre valores preditos e medidos, foi realizada uma análise de regressão linear simples. O objetivo foi verificar o grau de associação entre as variáveis e determinar a acurácia das estimativas preditas pela câmera em relação aos dados reais. A regressão foi realizada com o método dos mínimos quadrados, reportando-se o coeficiente de determinação (R^2), o erro padrão da estimativa (RMSEP) e o Coeficiente de Correlação de Concordância (CCC).

As fórmulas para o RMSEP e o CCC foram implementadas para avaliar a precisão das estimativas. O RMSEP foi calculado para medir a diferença entre os valores preditos e os reais, enquanto o CCC foi utilizado para quantificar a concordância entre as duas séries de dados.

Finalmente, gráficos de dispersão foram gerados para visualizar a distribuição dos dados e a relação entre os valores preditos e os reais, apresentando a linha de regressão, o coeficiente de determinação (R^2), o erro padrão da estimativa (RMSEP) e o CCC em seus respectivos locais, além da equação da linha de regressão. Todos os cálculos estatísticos e análises foram implementados em *Python*, utilizando as bibliotecas *statsmodels* para regressão linear, *scikit-learn* para métricas de performance e *matplotlib* para visualização dos dados.

Ademais, foi realizada uma breve comparação financeira entre os métodos tradicionais e o uso da câmera, por meio da estimação dos valores de mão de obra utilizada para as medições usuais e o valor da câmera utilizada no experimento.

3 RESULTADOS

Os resultados obtidos a partir da análise das imagens dos bezerros foram significativos tanto para a predição do peso quanto para a estimativa das medidas corporais. As comparações entre as medidas preditas pela câmera e as medidas reais/observadas foram

realizadas para as variáveis peso corporal, largura da garupa, perímetro torácico e altura da cernelha.

3.1 Peso Corporal

As estimativas de peso corporal preditas pela câmera foram comparadas com os pesos reais registrados pela balança. O coeficiente de correlação de Pearson foi calculado, apresentando um valor de $R = 0,927$. A análise de regressão linear resultou na seguinte equação da linha de regressão: $y = 1,01x - 0,56$, onde y são os pesos reais observados na balança e x são os pesos preditos pela câmera, em quilogramas.

O coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,859, e o erro padrão da estimativa (RMSEP) foi de 4,728. O gráfico de dispersão correspondente está representado no Gráfico 1, abaixo.

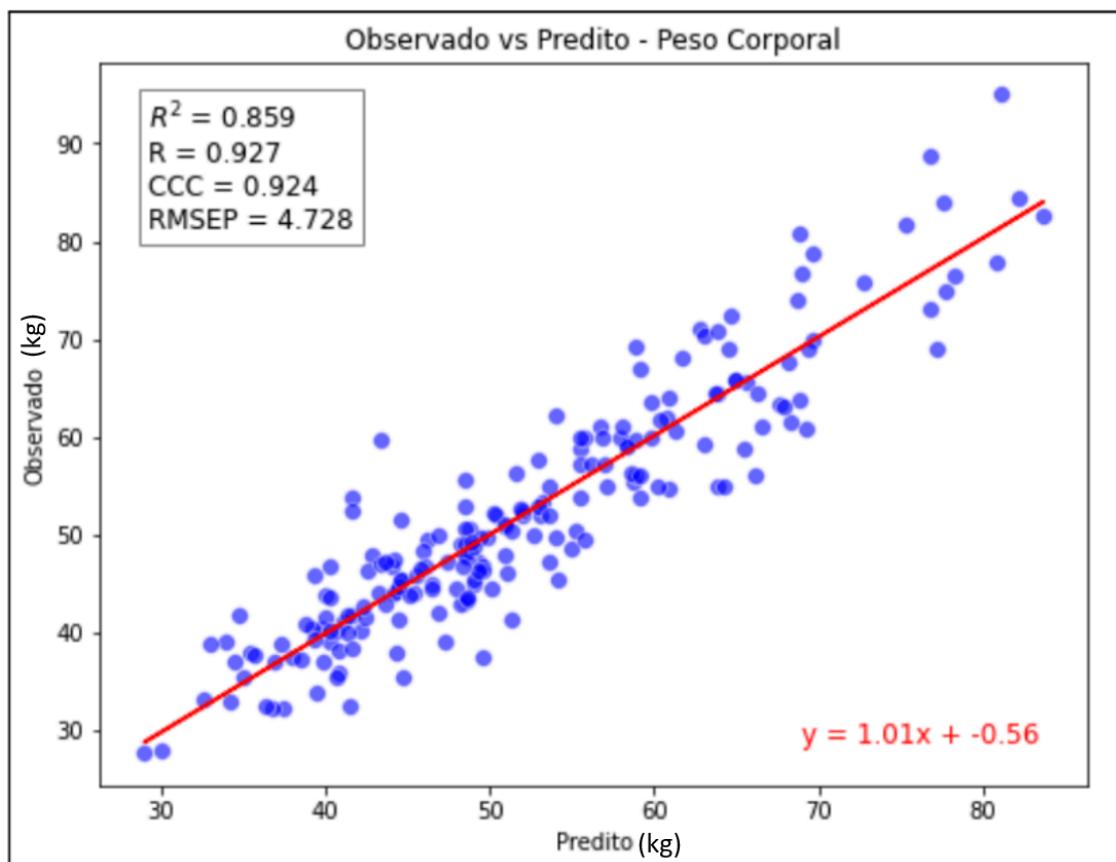


Gráfico 1: Regressão linear entre valores observados e preditos do peso corporal dos bezerros, em quilogramas, onde R^2 se refere ao coeficiente de determinação, R , coeficiente de correlação de Pearson, CCC, coeficiente de correlação de concordância e RMSEP se refere ao erro médio .

3.2 Largura da Garupa

As estimativas da largura da garupa preditas pela câmera foram comparadas com as medidas reais obtidas com a régua antropométrica. O coeficiente de correlação de Pearson foi de $R = 0,841$. A equação da linha de regressão foi: $y = 1,05x - 1,08$, onde y são as medidas reais obtidas pela régua antropométrica e x são as medidas preditas pela câmera, em centímetros.

O coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,707, e o erro padrão da estimativa (RMSEP) foi de 1,062. O gráfico de dispersão correspondente está representado no Gráfico 2.

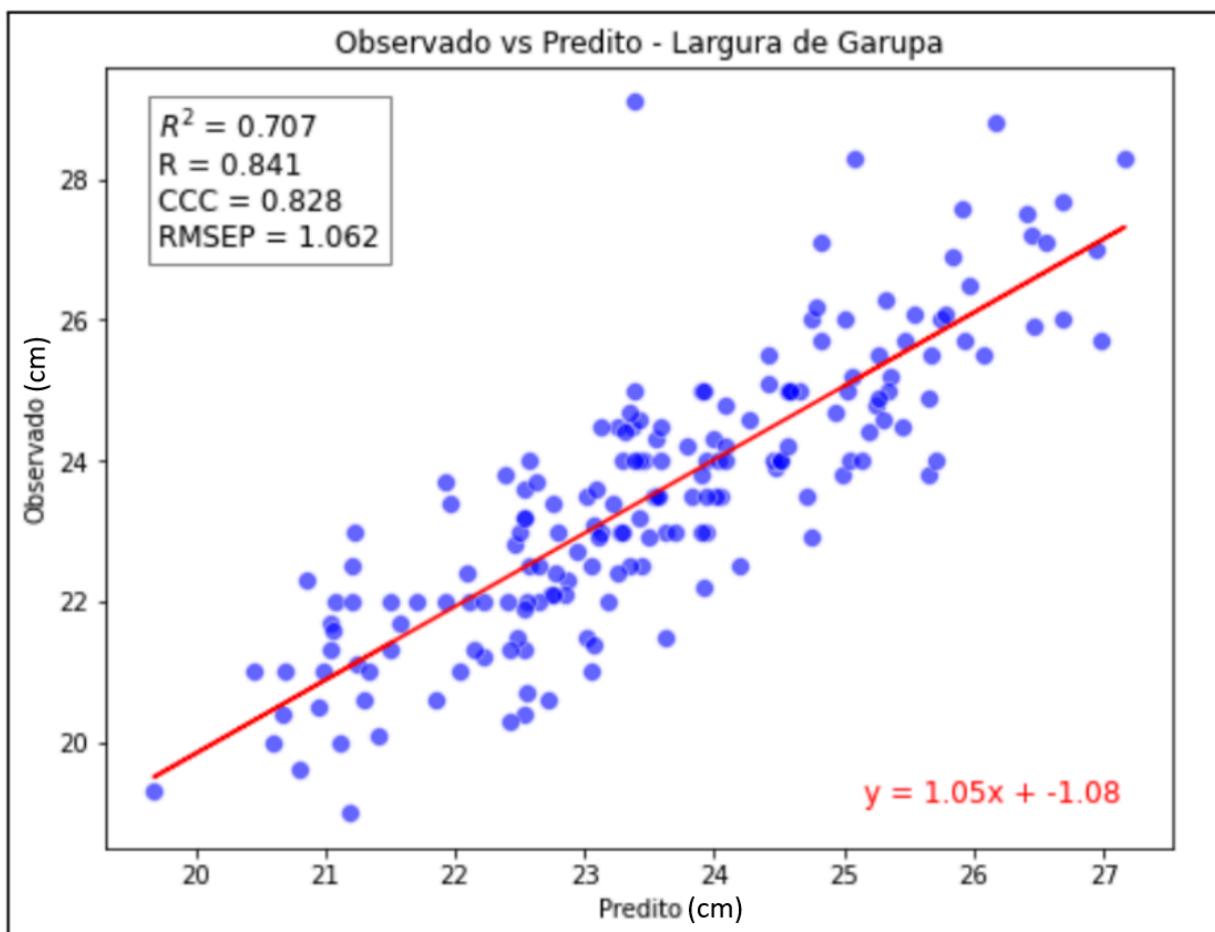


Gráfico 2: Regressão linear entre valores observados e preditos da largura da garupa dos bezerros, em centímetros.

3.3 Perímetro Torácico

As estimativas do perímetro torácico preditas pela câmera foram comparadas com as medidas reais obtidas pela fita métrica. O coeficiente de correlação de Pearson foi de $R = 0,738$. A equação da linha de regressão foi: $y = 1,01x - 0,53$, onde y são as medidas reais obtidas pela fita de medida e x são as medidas preditas pela câmera, em centímetros.

O coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,738, e o erro padrão da estimativa (RMSEP) foi de 3,403. O gráfico de dispersão correspondente é representado no Gráfico 3.

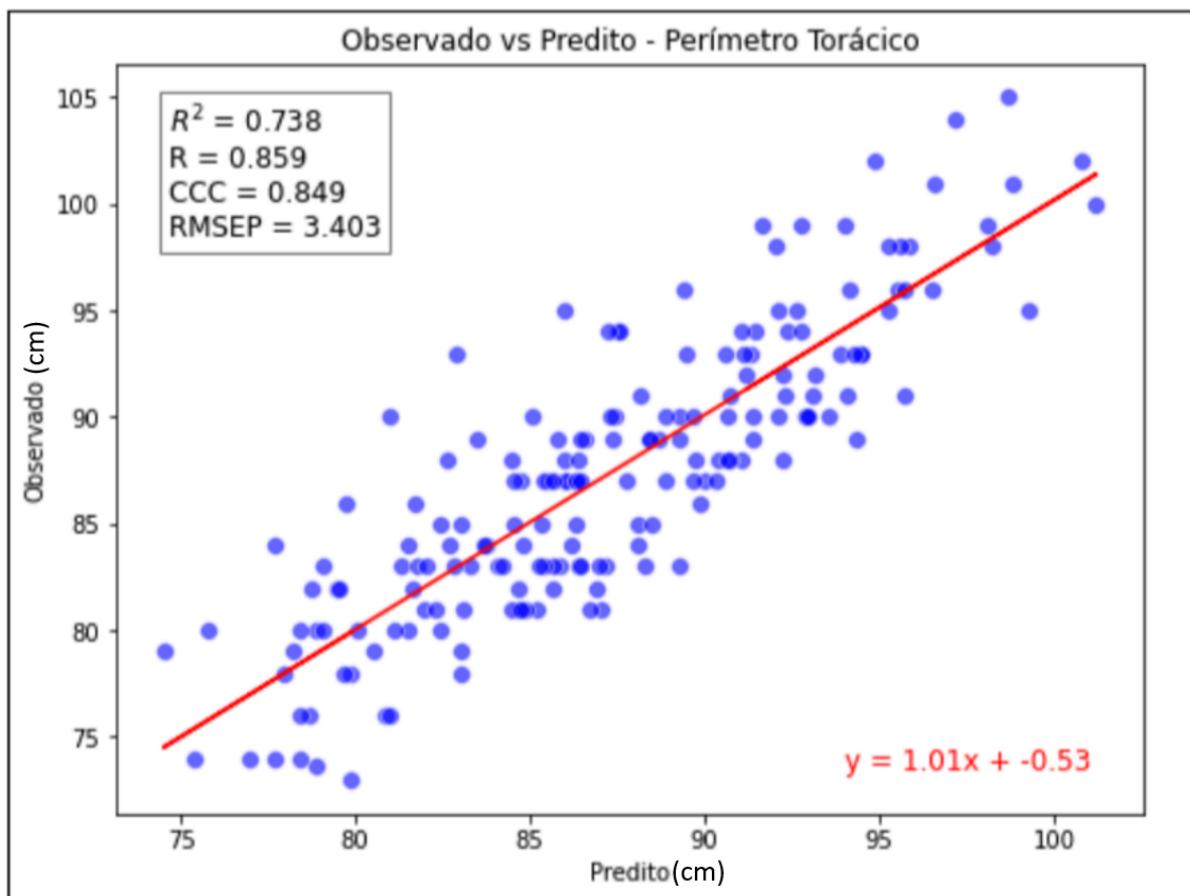


Gráfico 3: Regressão linear entre valores observados e preditos do perímetro torácico dos bezerros, em centímetros.

3.4 Altura da Cernelha

As estimativas da altura da cernelha preditas pela câmera foram comparadas com as medidas reais obtidas com a régua antropométrica. O coeficiente de correlação de Pearson foi de $R = 0,861$. A equação da linha de regressão foi: $y = 0,95x + 3,75$, onde y são as medidas

reais obtidas pela régua antropométrica e x são as medidas preditas pela câmera, em centímetros.

O coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,741, e o erro padrão da estimativa (RMSEP) foi de 2,473. O gráfico de dispersão correspondente está representado no Gráfico 4.

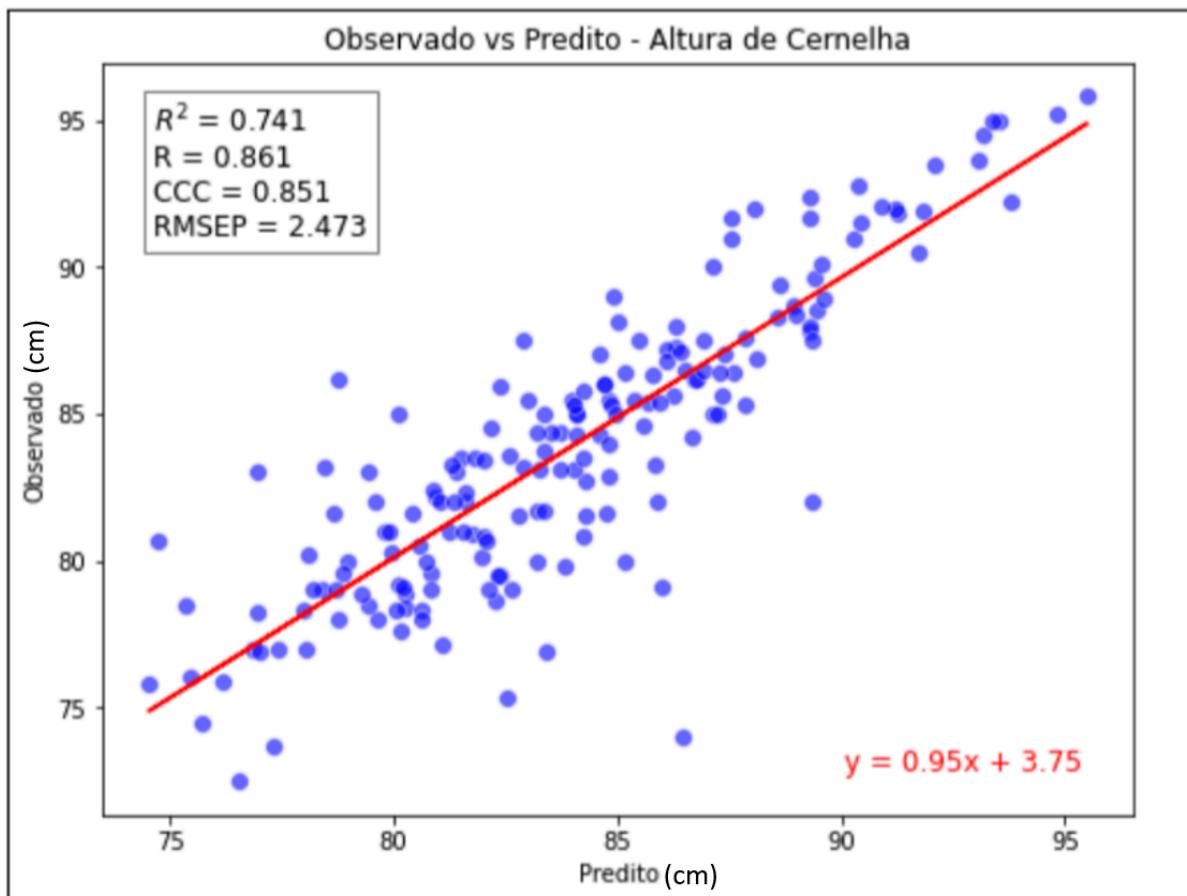


Gráfico 4: Regressão linear entre valores observados e preditos da altura de cernelha dos bezerros, em centímetros.

4 DISCUSSÃO

Os resultados da análise demonstraram alta correlação entre as medidas preditas pela câmera e as medidas reais obtidas manualmente, indicando que a técnica de imagem utilizada pode ser uma ferramenta eficaz para estimar as dimensões corporais e o peso dos bezerros. O coeficiente de determinação (R^2) para o peso corporal foi de 0,85, ou seja 85% da variabilidade no peso dos bezerros pode ser explicada pelas estimativas feitas pela câmera. Isso é particularmente relevante, pois pode oferecer uma alternativa prática e não invasiva

para a avaliação do peso corporal em contextos onde o manejo tradicional é problemático, especialmente em fazendas com grande número de animais.

As correlações observadas para as variáveis de perímetro torácico ($R = 0,86$), altura da cernelha ($R = 0,86$) e largura de garupa ($R = 0,84$) foram igualmente satisfatórias, reforçando a precisão do método de imagem em estimar essas medidas. Tais resultados são consistentes com estudos anteriores que mostram a eficácia das técnicas de imagem em medir características morfométricas em animais, o que sugere que métodos baseados em visão computacional podem revolucionar a maneira como as medições são realizadas na prática pecuária (CAFFARINI et al., 2022). No entanto, vale ressaltar que essas correlações ligeiramente mais baixas que a do peso ($R = 0,93$) podem estar relacionadas a fatores como a posição do bezerro durante a captura da imagem ou variações naturais na morfologia entre os indivíduos.

A capacidade de estimar o peso corporal e outras dimensões de maneira precisa e não invasiva é extremamente valiosa para a gestão da saúde e do bem-estar dos bezerros. Em sistemas de produção, onde o manejo adequado é vital para garantir o desenvolvimento saudável dos animais, as técnicas de imagem podem facilitar o monitoramento contínuo do crescimento e da condição corporal dos bezerros, permitindo intervenções mais rápidas e informadas quando necessário. Além disso, o uso de câmeras para medições morfométricas pode contribuir para a redução do estresse nos animais, uma vez que evita a necessidade de manipulação física frequente. Essa abordagem é especialmente relevante em operações de grande escala, onde o manejo manual pode ser impraticável e oneroso.

A implementação de tecnologias de monitoramento por imagem pode não apenas melhorar a eficiência do manejo, mas também garantir que os bezerros sejam tratados de maneira mais ética devido ao menor contato direto com o animal, diminuindo assim a possibilidade do erro humano no manejo, seja nas medições ou no modo de tratamento com o animal.

Ao avaliar a proposta de inserção de tecnologia sob uma perspectiva financeira, especialmente em comparação com métodos convencionais que envolvem balanças, fitas métricas e réguas antropométricas, é evidente que os métodos tradicionais apresentam custos significativamente mais altos, particularmente em relação ao tempo de trabalho e ao manejo

dos animais. Considerando um salário mensal aproximado de R\$2.500,00 para pelo menos quatro funcionários responsáveis pelas medições, e levando em conta que esses profissionais dedicariam cerca de 5 horas por semana a essa atividade, o custo total mensal relacionado à mão de obra ficaria em torno de R\$1.250,00. Essa estimativa é baseada em uma jornada de trabalho de 8 horas diárias, com 1 hora de intervalo para almoço, durante 5 dias por semana. O valor final pode variar conforme o número de bezerras na fazenda e a frequência das medições realizadas. Além disso, é importante considerar os custos indiretos associados ao estresse causado pelo manejo, podendo gerar uma queda no consumo de matéria seca ou de dieta líquida levando a menor desempenho, como sugere Spinelli et al. (2024) relacionando bem-estar animal com consumo.

Em contrapartida, a implementação de um sistema automatizado de câmeras, embora requeira um investimento inicial para a compra e instalação da câmera — que poderia, por exemplo, ser posicionada em um trilho sobre as gaiolas suspensas — oferece uma solução mais econômica a longo prazo, pois não gera custos mensais adicionais com mão de obra.

O sistema seria composto por trilhos instalados no teto, transcorrendo todas as gaiolas em um bezerreiro, permitindo que a câmera se mova automaticamente por meio de um software específico, pausando por aproximadamente 30 segundos em cada gaiola individual. Após a coleta de dados, todos os vídeos seriam transferidos para um armazenamento em nuvem, onde um algoritmo seria executado para extrair os *frames* em formato raw, incluindo imagens de profundidade e infravermelho. Esses *frames* seriam, então, organizados em uma segunda pasta no ambiente de armazenamento em nuvem. Ao final do dia, um novo algoritmo processaria esses dados para gerar valores preditivos das medidas corporais dos animais, como peso, largura de garupa, altura de cernelha e perímetro torácico.

Com essa tecnologia, é possível obter informações sobre o ganho ou perda de peso dos animais de forma mensal, semanal ou até diária, contribuindo para o diagnóstico de doenças, estresse e problemas relacionados ao bem-estar animal. O custo estimado para a câmera, como a utilizada neste trabalho, seria cerca de R\$2.600,00, enquanto a instalação do sistema de trilhos dependeria do número de bezerras e gaiolas da fazenda. Uma vez implementado, esse sistema não apenas reduz os custos operacionais, mas também melhora a precisão das medições, minimizando erros humanos e promovendo um manejo mais ético e eficiente. A manutenção necessária para o sistema tende a ser mínima, restringindo-se a reparos ocasionais

e à limpeza das lentes da câmera, o que representa uma economia significativa ao longo do tempo.

Vale ressaltar que o sistema descrito anteriormente foi concebido para uma fazenda onde o alojamento ocorre em gaiolas suspensas, permitindo um monitoramento individualizado das bezerras. Contudo, é possível adaptar essa abordagem a diferentes configurações de alojamento. Por exemplo, em um sistema de baias coletivas, a câmera poderia ser posicionada em um ponto elevado para capturar imagens de todos os animais simultaneamente. A identificação de cada bezerro poderia ser feita através de colares eletrônicos ou brincos, permitindo que o software diferencie os indivíduos e registre suas respectivas medidas. Já em baias individuais, a câmera poderia ser montada em um trilho, semelhante ao das gaiolas, movendo-se automaticamente para cada baia e realizando as medições necessárias com precisão. Em situações onde os bezerros são alojados em duplas, o sistema poderia ser ajustado para capturar imagens de ambos, utilizando tecnologias de reconhecimento para garantir que as informações de cada animal sejam registradas de forma adequada. Essas variações garantiriam a flexibilidade do sistema, permitindo que ele se adapte às necessidades específicas de cada fazenda, enquanto mantém a eficiência e a precisão na coleta de dados sobre o crescimento e o bem-estar dos animais.

Os resultados obtidos neste trabalho são consistentes com a literatura existente que investiga a utilização de tecnologias de imagem para a avaliação de características em ruminantes. Estudos como o de Menezes et al. (2024) e Bi et al. (2023) relataram correlações semelhantes entre medidas preditas por métodos visuais e medidas reais, o que valida a abordagem adotada neste trabalho.

Embora os resultados sejam promissores, o estudo não está isento de limitações. O número de bezerros avaliados foi limitado a 72 indivíduos, o que pode não ser representativo da variabilidade genética e fenotípica presente em populações maiores. Além disso, as condições ambientais e a postura dos animais durante a captura das imagens podem influenciar as medições obtidas. Como o movimento dos animais não era rigidamente controlado, muitos dos fragmentos de vídeo coletados mostravam os bezerros curvando-se, explorando o ambiente da balança-gaiola, ou assumindo diversas outras posições. Para mitigar essas limitações, futuros estudos devem incluir um número maior de indivíduos e diferentes raças, além de investigar a influência de variáveis ambientais sobre as medições.

Ademais, futuros trabalhos podem se beneficiar da integração de técnicas de aprendizado de máquina para aprimorar a precisão das estimativas. O treinamento de algoritmos de inteligência artificial com um conjunto de dados mais robusto pode resultar em melhorias significativas nas previsões. Além disso, a utilização de tecnologias de sensoriamento remoto e drones pode expandir ainda mais as possibilidades de monitoramento em larga escala, permitindo uma avaliação mais abrangente do crescimento e desenvolvimento dos bezerros.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho destacou a importância do monitoramento do crescimento de bezerros leiteiros e avaliou a acurácia no uso da câmera Intel Realsense D455 como alternativa ao método tradicional de pesagem e medição de medidas corpóreas de bezerros. Os resultados indicaram uma forte correlação entre as estimativas da câmera e os dados obtidos manualmente, demonstrando sua confiabilidade. A tecnologia mostrou-se eficaz para monitorar o crescimento de forma precisa, ágil e com menor contato físico com os animais, trazendo benefícios à eficiência da fazenda e consequentemente ao produtor.

REFERÊNCIAS

- ABLV – Associação Brasileira da Indústria de Lácteos Longa Vida. Relatório Anual 2021. São Paulo: ABLV, 2021. 45 p. Disponível em: <https://ablv.org.br/wp-content/uploads/2022/05/ABLV-Relatorio-Anual-2021s.pdf>. Acesso em: 23 out. 2024.
- ANUÁRIO Leite 2023. Embrapa - Gado de Leite. [S. l.]: Embrapa, 2023. 120 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1154264/1/Anuario-Leite-2023.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2024.
- ANUÁRIO Leite 2024. Embrapa - Gado de Leite. [S. l.]: Embrapa, 2024. 140 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1164754/1/Anuario-Leite-2024.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2024.
- ARNOLD, G. W.; DUDZINSKI, M. Ethology of free-ranging domestic animals. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Co., 1978.

BARBOSA, Fellipe Matheus Costa. Medições volumétricas para biometria de animais domésticos utilizando nuvens de pontos em câmeras RGB-D. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

BI, Ye et al. Depth video data-enabled predictions of longitudinal dairy cow body weight using thresholding and Mask R-CNN algorithms. Smart Agricultural Technology, v. 6, p. 100352, 2023.

CAFFARINI, Joseph G.; BRESOLIN, Tiago; DOREA, João R. R. Predicting ribeye area and circularity in live calves through 3D image analyses of body surface. Journal of Animal Science, v. 100, n. 9, p. skac242, 2022.

DOS SANTOS, Glauber; BELONI, Tatiane. Custo de produção de bezerras e novilhas leiteiras – Um estudo de caso. Revista iPecege, v. 2, n. 1, p. 29-39, 2016.

FERREIRA, Fernanda Carolina; SALMAN, Ana Karina Dias; DA CRUZ, Pedro Gomes. Criação de bezerras leiteiras. 2020.

HEINRICHS, A. J.; HARGROVE, G. L. Standards of weight and height for Holstein heifers. Journal of Dairy Science, v. 70, n. 3, p. 653-660, mar. 1987. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(87\)80055-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(87)80055-3).

MENEZES, Guilherme et al. Precision identification and weight assessment of cattle using supervised machine learning on body surface keypoints. Journal of Animal Science, v. 102, n. Supplement_3, p. 310-311, 2024.

QUEM PRODUZ O leite brasileiro 2023. Milkpoint Ventures. [S. l.]: Milkpoint, 2023. 12 p.

RELATÓRIO Socioeconômico da Cadeia Produtiva do Leite no Rio Grande do Sul. Emater/RS-Ascar Expainter. [S. l.], 31 ago. 2023.

SPINELLI, Higor Borges de Oliveira Franco et al. Bem-estar na alimentação de bezerras leiteiras. Pubvet, v. 18, n. 08, p. e1642-e1642, 2024.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

CORRÊA, Priscilla Braga Pinheiro. Estimativa da massa corporal de bovinos por meio de sensor de profundidade Kinect®. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade, 2015.

KRUKOWSKI, Marilyn. Automatic determination of body condition score of dairy cows from 3D images. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Skolan för datavetenskap och kommunikation, Kungliga Tekniska högskolan, Estocolmo, Suécia.

LIU, Dong; HE, Dongjian; NORTON, Tomas. Automatic estimation of dairy cattle body condition score from depth image using ensemble model. Biosystems Engineering, v. 194, p. 16-27, 2020.

OZKAYA, Serkan. The prediction of live weight from body measurements on female Holstein calves by digital image analysis. The Journal of Agricultural Science, v. 151, n. 4, p. 570-576, 2013.

SHELLEY, Anthony Neal. Incorporating machine vision in precision dairy farming technologies. 2016. Dissertação (Mestrado) – University of Kentucky, Lexington, 2016.

SONG, X. et al. Automated body weight prediction of dairy cows using 3-dimensional vision. Journal of Dairy Science, v. 101, n. 5, p. 4448-4459, 2018.