

Análise de parâmetros acústicos de vocalizações de gado bovino em condições de confinamento e manejo

Bryan Teixeira Paiva¹[0000-0003-0031-9970], Ana Paula Lüdtkke
Ferreira¹[0000-0001-7057-9095], and Naylor Bastiani
Perez^{1,2}[0000-0002-4667-783X]

¹ Programa de Pós-graduação em Computação Aplicada
Universidade Federal do Pampa, Bagé-RS, Brazil
{bryanpaiva.aluno, anaferreira}@unipampa.edu.br

² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Bagé-RS, Brazil
naylor.perez@embrapa.br

Resumo Os sistemas de produção pecuária têm um papel fundamental na economia brasileira, sendo uma das principais fontes de renda do país. Durante diversas etapas da produção – incluindo procedimentos veterinários, pesagem e transporte – os animais são submetidos a diferentes níveis de manejo, cada um com potencial para lhes causar estresse. O estresse animal impacta significativamente as propriedades da carne, incluindo a redução da qualidade a ponto de torná-la inadequada para consumo humano. Este trabalho analisou vocalizações de bovinos sob duas condições psicologicamente distintas: confinamento e manejo. O objetivo principal foi desvendar situações de estresse por meio de padrões sonoros emitidos em cada situação. Foi realizada uma análise estatística dos parâmetros acústicos das vocalizações animais, como frequência fundamental (F0), formantes espectrais (F1-F4), *jitter*, *shimmer*, harmonia e intensidade. Os resultados da análise acústica revelaram diferenças significativas ($p < 0,001$) entre os parâmetros de vocalizações estressadas e não estressadas na maioria dos parâmetros, destacando a viabilidade do emprego de recursos acústicos para identificar o estado emocional dos animais durante o manejo.

Keywords: Análise acústica · Bem-estar animal · Pecuária de precisão

1 Introdução

A pecuária bovina de corte é uma das principais atividades geradoras de renda no Brasil, com produção estimada em 213 milhões de cabeças de gado [4]. O setor é responsável por 6% do PIB brasileiro, sendo o país um dos principais produtor, consumidor e exportador de carne do mundo.

Embora possua uma produção considerável, a indústria pecuária de corte está continuamente em busca de formas de aumentar sua lucratividade, especialmente ao melhorar a qualidade da carne produzida. Isso se deve à necessidade

de atender aos padrões rigorosos exigidos para a exportação para mercados de alto valor agregado [1].

Nos últimos anos, nota-se uma mudança no perfil de consumidores comuns, com uma maior exigência em relação à qualidade da carne que consomem. Além dos atributos tradicionais como aparência, sabor, textura e aroma, há um número crescente de consumidores preocupados com o bem-estar dos animais e as práticas de criação. Especialmente em mercados como o da União Europeia e entre consumidores com maior poder aquisitivo, há uma disposição para pagar mais por produtos que garantam um tratamento adequado aos animais ao longo de todo o processo de produção [12].

O bem-estar dos animais envolve diversos aspectos, como liberdade, conforto, estresse, medo e saúde. No contexto da criação de gado, o manejo dos animais durante as diferentes etapas de produção geralmente afeta negativamente seu bem-estar e pode prejudicar a qualidade final da carne. Um manejo inadequado pode causar desde lesões leves, como hematomas, até situações extremas que levam à morte dos animais, acarretando em perdas financeiras para os produtores e frigoríficos, além do sofrimento dos próprios animais (Paranhos, 2000).[1].

O estresse desenvolvido pelos animais durante os manejos pode levar a um aumento do pH da carne, resultando em características conhecidas como DFD (escura, dura e seca, do inglês *dark, firm, dry*). Isso compromete a qualidade da carne e gera prejuízos financeiros para os diferentes agentes da cadeia de produção - produtores, transportadores e frigoríficos - pois uma carne com essas características não é adequada para consumo humano [6].

Nesse contexto, as vocalizações do gado bovino têm sido examinadas como possíveis indicadores do bem-estar animal, através da análise da estrutura acústica e das informações nelas codificadas. [14]. Estudos recentes têm demonstrado que as vocalizações podem conter uma riqueza de informações sobre o estado emocional, saúde e comportamento dos animais.

O objetivo deste trabalho foi realizar uma análise estatística sobre os principais parâmetros acústicos avaliados na literatura no estudo e identificação de vocalizações e estresse de animais. Como parâmetros de análise foram definidos a frequência fundamental (F0), os quatro primeiros formantes do espectro das vocalizações (F1, F2, F3 e F4), *jitter*, *shimmer*, harmonia e intensidade. O trabalho foi conduzido a partir de análise de variância por testes *t* de Student entre os parâmetros selecionados, com dados de vocalização provenientes de dois grupos independentes (confinamento e manejo).

O restante deste trabalho está organizado como se segue: a Seção 2 apresenta o conjunto de material e métodos utilizados neste trabalho, a Seção 3 apresenta discute os resultados obtidos e a Seção 4 apresenta a conclusão do trabalho, com indicação de trabalhos futuros.

2 Material e métodos

O trabalho foi realizado a partir de uma metodologia dividida em cinco etapas procedimentais: (i) revisão de escopo da literatura sobre análise acústica de

vocalizações de animais de corte (com ênfase em gado bovino); (ii) coleta de dados de vocalizações em condições de confinamento e manejo; (iii) tratamento dos dados e preparação da base de vocalizações; (iv) processamento dos dados e análise acústica; (v) análise dos resultados.

2.1 Coleta de dados

A captação das vocalizações dos animais foi conduzida em dois contextos distintos: confinamento e manejo. Cada contexto representa um momento em que diferentes níveis de estresse animal podem ser observados. As coletas foram realizadas com 48 animais na raça Brangus (*Bos taurus indicus*).

No ambiente de confinamento, situado na zona rural da cidade de Bagé-RS ($31^{\circ}18'56''S$ $53^{\circ}59'54''W$), os animais estavam divididos em dois espaços amplos, de aproximadamente 1500m² no total (30m x 25m cada potreiro), onde podiam conviver, interagir e se alimentar livremente. Neste período, as interações com humanos eram minimizadas, ocorrendo somente quando era necessário repor a alimentação dos animais, garantindo assim a manutenção de um ambiente controlado.

Para a captação dos sons no ambiente de confinamento, foram instaladas três câmeras para cobertura total do ambiente: uma na extremidade esquerda, outra central e a terceira na extremidade direita do local de confinamento. As câmeras foram posicionadas próximas aos cochos, locais nos quais os animais se concentravam na maior parte de seu tempo durante o confinamento. A Figura 1 apresenta a disposição das câmeras durante a coleta de vocalizações de confinamento.

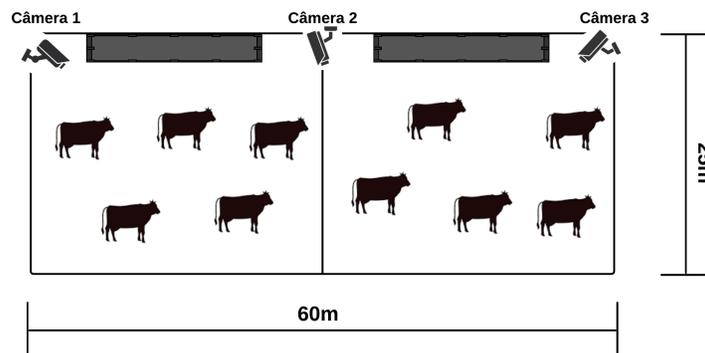


Figura 1. Animais em confinamento

As imagens foram registradas ao longo de um período de 14 dias, totalizando aproximadamente 1000 horas de filmagens. Vale destacar que, no ambiente de confinamento, as vocalizações registradas foram categorizadas como sendo de

natureza controlada, refletindo o estado sereno dos animais e a ausência de interações estressantes. A Fig. 2 apresenta os animais em confinamento.



Figura 2. Animais em confinamento

Outro momento de interação dos animais com os humanos ocorria no momento em que se fazia necessário o manejo dos animais. Especificamente, fez-se uso do processo de pesagem dos animais para coleta de vocalizações de estresse. De fato, nesse cenário observou-se um manejo mais intensivo dos animais, caracterizado por interações enérgicas que envolviam gritos, gestos e cutucões. Foram acompanhadas duas sessões de manejo dos animais, com duração aproximada de 1 hora cada. Durante o manejo, os animais foram conduzidos para um curral estreito que os levava até a balança. Nesse percurso, a interação entre humanos e animais tornava-se mais explícita, culminando na contenção dos animais dentro da gaiola de pesagem até a realização da leitura do peso. Após esse procedimento, o animal era libertado da gaiola, abrindo espaço para a entrada do próximo animal a ser pesado. A Fig. 3 apresenta o local de manejo dos animais.

Durante os procedimentos de manejo foi evidente a agitação e um aumento nos níveis de estresse dos animais, também atestado por especialistas em comportamento animal. O processo foi acompanhado por uma maior produção de vocalizações em comparação com os períodos de confinamento. O monitoramento e registro deste processo foi executado por meio de câmeras digitais.

O uso de câmeras, tanto do manejo como no confinamento, possibilitou uma análise mais detalhada das interações e comportamentos dos animais. A categorização de situações de estresse e não estresse foi feita por meio das imagens coletadas, em que pode-se verificar o comportamento do animal enquanto vocalizava.



Figura 3. Manejo dos animais

2.2 Preparação da base de dados

A construção da base de dados de vocalizações e rotulação dos dados como de estresse (ou não) originou-se das filmagens capturadas durante a fase de coleta de dados. Nesse estágio, foi necessária a análise dos registros e a categorização das vocalizações com base nos níveis de estresse manifestados pelos animais.

Para automatizar a preparação da base de vocalizações de confinamento, foi desenvolvido um *software* em Python (<https://www.python.org/>) para detecção de picos de amplitude sonora nas filmagens. Como as vocalizações de bovinos geralmente variam entre 1,3 e 2,1 segundos de duração [14], o funcionamento do *software* envolve a criação de janelas de 3 segundos, nas quais são verificados picos de amplitude sonora. Esses picos indicam a presença de sons discrepantes e, caso identificados, os trechos correspondentes a essas janelas de tempo são individualmente armazenados para análises manuais subsequentes.

A análise manual foi empregada com a utilização do *software* Movavi Video Editor (<https://www.movavi.com/pt/videoeditor/>). Na análise, foram descartados os fragmentos que não se enquadravam como vocalizações ou cujos sons não possuíam qualidade satisfatória devido à baixa amplitude ou sobreposição de sons.

Após a verificação manual e individual dos fragmentos, foi realizada a extração dos sons, no formato *Waveform Audio Format* (wav), dos arquivos de vídeo restantes. Os arquivos de áudio resultantes foram submetidos a um filtro digital com o intuito de eliminar possíveis ruídos presentes nos sons, visando assegurar vocalizações isoladas para análises que estejam melhor alinhadas com as características acústicas das vocalizações emitidas pelos animais. A aplicação do filtro

pode ser feita em tempo de análise/execução, podendo ser usado no processo de coleta relacionado às aplicações reais do sistema.

Assim, das aproximadamente 1000 horas de filmagens durante o confinamento, foi possível extrair 357 vocalizações individuais dos animais. Dado o contexto de controle, esses sons foram categorizados como vocalizações normais.

No que se refere à coleta de dados durante os manejos, a análise dos registros de vídeo foi realizada manualmente também utilizando o *software* Movavi Video Editor. Durante esse processo, foram identificadas um total de 186 vocalizações individuais emitidas pelos animais. Para manter a consistência dos dados, o comprimento de duração dos arquivos de áudio foram padronizadas para 3 segundos, o que também foi aplicado às vocalizações capturadas em ambiente de confinamento.

Assim como nas vocalizações em confinamento, as vocalizações em manejo também foram submetidas a uma etapa de filtragem de ruídos, visando garantir a qualidade das amostras de áudio. Dada a natureza desse contexto, caracterizado por interações intensas entre animais e humanos, esses sons foram rotulados como vocalizações de estresse.

2.3 Análise acústica

Para compreender e analisar as características das vocalizações coletadas, foram feitas análises nos domínios da amplitude e frequência. Para esse propósito, empregou-se um software em linguagem Python, utilizando as bibliotecas Librosa (<https://librosa.org/>), Matplotlib (<https://matplotlib.org/>) e Parselmouth (<https://pypi.org/project/praat-parselmouth/>) com a finalidade de extrair e visualizar os sinais de áudio nos domínios do tempo e frequência, bem como a sua representação na forma de onda. A Fig. 4 apresenta duas vocalizações durante os períodos de confinamento e manejo nos domínios do tempo e da frequência.

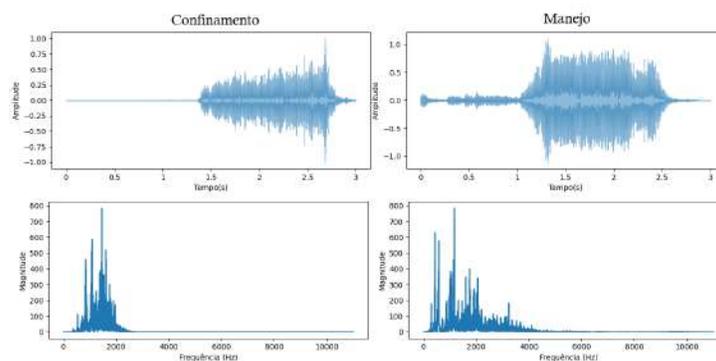


Figura 4. Comparação de vocalizações nos domínios do tempo e frequência

No âmbito da frequência, foram examinadas a densidade espectral de energia (Power Spectral Density - PSD) e o espectrograma das vocalizações, buscando compreender a distribuição das principais frequências e identificar eventuais disparidades entre elas. A Figura 5 exibe gráficos comparativos da análise no domínio da frequência.

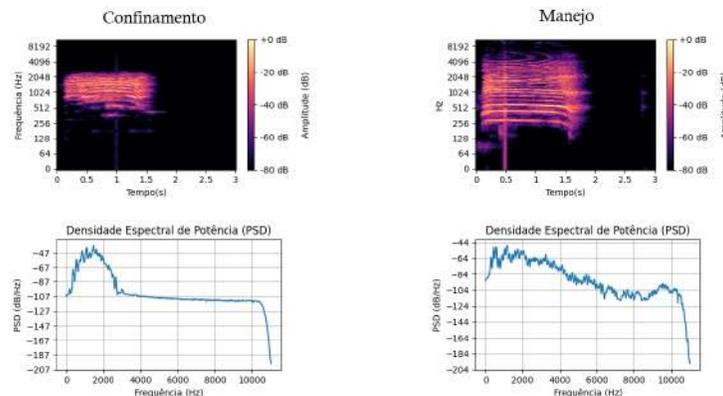


Figura 5. Comparação de vocalizações através do espectrograma e PSD

A análise visual revelou diferenças entre as vocalizações durante períodos de confinamento e manejo. Em termos de frequência, as representações visuais demonstraram que as vocalizações durante momentos de estresse apresentavam frequências mais elevadas, evidenciadas claramente nos espectrogramas e nos gráficos de PSD. Essa análise visual foi importante para destacar indícios relevantes sobre mudança de produção vocal em diferentes contextos, incentivando investigações mais aprofundadas sobre as características acústicas das vocalizações.

Assim, após a análise visual das vocalizações, realizou-se um estudo abordando os principais parâmetros acústicos examinados na literatura sobre as vocalizações de bovinos, incluindo a frequência fundamental (F0), os formantes F1 - F4, *jitter*, *shimmer*, harmonia e intensidade das vocalizações [14,16,13,5,11,7,8].

A frequência fundamental, também chamada de *pitch* ou F0, é a componente de frequência mais baixa de um sinal sonoro, e que se relaciona harmonicamente com as outras parciais, o que significa que a frequência da maioria das parciais está relacionada à frequência da parcial mais baixa por uma pequena proporção de números inteiros [2]. Em estudos sobre vocalizações animais, como os de bovinos, o *pitch* pode ser uma métrica relevante para avaliar variações na comunicação vocal, refletindo diferenças na emoção, comportamento ou estado de saúde dos animais [14,3].

Os formantes do espectro podem ser definidos como picos de energia em uma região do espectro sonoro. São caracterizados pela frequência do pico, pelo fator

de ressonância e pelo nível de amplitude relativa do som [8]. Um formante é um modo natural de vibração (ressonância) do trato vocal, e Como a maioria dos mamíferos não consegue alterar a forma ou as dimensões do seu trato vocal, pois ele é fisicamente restringido por estruturas esqueléticas, o comprimento do trato vocal em bovinos correlaciona-se significativamente com a dispersão de formantes [3].

Em bovinos, a análise dos formantes do espectro pode fornecer dicas e indícios sobre a idade, tamanho e/ou gênero do vocalizador [14]. Mesmo para animais que podem alterar sua voz formato do trato, por exemplo, veado vermelho que pode retrair sua laringe, o formante mínimo a dispersão ainda se correlaciona com a idade e o tamanho corporal [3]. Em bezerros de corte, foi demonstrado que as frequências dos formantes diminuiram à medida que os bezerros envelheceram, sendo um resultado direto do crescimento e desenvolvimento dos animais [14].

O *jitter* e o *shimmer* representam variações na frequência fundamental. Enquanto o *jitter* indica a variabilidade ou perturbação na frequência fundamental, o *shimmer* refere-se à mesma perturbação, mas relacionada à amplitude da onda sonora, ou seja, à intensidade da emissão vocal. O *jitter* é influenciado principalmente pela falta de controle de vibração das pregas vocais, enquanto o *shimmer* está relacionado à redução da resistência glótica e lesões de massa nas pregas vocais, frequentemente correlacionado com a presença de ruído. Em estudos com bovinos, valores elevados para *jitter* e *shimmer* foram associados à presença de estresse [15].

A harmonia representa o grau de periodicidade acústica, sendo medida como a razão entre a energia harmônica e a energia não harmônica na vocalização. Valores mais altos refletem vocalizações mais tonais [3]. Em estudos com animais, a harmonia foi empregada na caracterização e identificação de vocalizações [3,9,10].

A intensidade é uma medida da potência do som por unidade de área, descrevendo a quantidade de energia sonora transmitida por uma onda sonora em uma determinada região. Quanto maior a intensidade, mais energia sonora está presente, e, portanto, o som é percebido como mais alto. Em estudos com animais, a intensidade tem sido utilizada para analisar vocalizações em condições estressantes e não estressantes [13,9].

Esta análise torna-se importante para a comparação entre vocalizações provenientes de situações de confinamento e de manejo, visando identificar os principais fatores que possam caracterizar os estados de tranquilidade ou estresse dos animais. Além disso, a análise desempenha um papel significativo como um ponto de comparação entre os resultados deste estudo e aqueles encontrados na literatura. Para cada uma das características examinadas, foram calculadas a média e o desvio padrão para todos os valores associados a cada tipo de vocalização.

3 Resultados

Para analisar os resultados obtidos na etapa de análise acústica, foi empregada uma análise estatística por testes t de Student sobre as características acústicas das vocalizações coletadas. Essa análise permite avaliar se existem diferenças significativas entre as médias de grupos independentes. O objetivo principal da análise estatística é determinar se a variabilidade observada nas médias entre os grupos é maior do que a variabilidade esperada devido ao acaso.

A análise estatística foi realizada com base nos parâmetros acústicos de frequência fundamental (F0), formantes do espectro F1-F4, *jitter*, *shimmer*, harmonia e intensidade extraídos das vocalizações de dois grupos independentes:

- Confinamento: Coletas realizadas em local onde os animais tinham liberdade dentro de um espaço amplo, alimentação e poucas interações com humanos. Essas vocalizações são consideradas como normais
- Manejo: Coletas realizadas durante o manejo dos animais, onde haviam intensas interações com humanos, com gritos, cutucões e barulho. Essas vocalizações são consideradas de estresse.

O teste de hipóteses foi realizado para cada parâmetro definido, comparando-se as médias obtidas para cada grupo independente. Sendo assim, as hipóteses levantadas são:

- Hipótese Nula (H0): Não há diferença significativa entre as médias dos parâmetros acústicos para vocalizações de confinamento e de manejo. Qualquer variação observada é atribuída ao acaso.
- Hipótese Alternativa (HA): Existe uma diferença significativa entre as médias dos parâmetros acústicos para vocalizações de confinamento e de manejo. A variação observada não é devida ao acaso, indicando uma relação verdadeira entre situações de estresse e mudanças nos parâmetros de vocalizações.

O teste t de Student foi empregado para avaliar se as médias observadas dos grupos de confinamento e manejo apresentaram diferenças estatisticamente significativas ou são simplesmente variações aleatórias nos dados, com um nível de confiança de 5%. A Equação 1 ilustra o cálculo do teste t de Student.

$$t = \frac{m_1 - m_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (1)$$

Onde:

- m_1 e m_2 são as médias de cada grupo
- s_1 e s_2 são os desvios padrão para cada grupo
- n_1 e n_2 são a quantidade de amostras de cada grupo

Tabela 1. Análise de variância dos parâmetros vocais por testes de t de Student

Parameter	Confinement	Handling	<i>P-value</i>
Mean F0 (Hz)	172,87 ± 25,27	276,23 ± 47,38	< 0,001***
Min F0 (Hz)	81,74 ± 14,57	132,54 ± 29,24	< 0,001***
Max F0 (Hz)	436,17 ± 57,25	458,70 ± 51,46	0,1133
Mean F1 (Hz)	848,34 ± 51,94	940,47 ± 54,83	< 0,001***
Mean F2 (Hz)	1445,04 ± 61,42	1582,79 ± 58,74	< 0,001***
Mean F3 (Hz)	2029,96 ± 89,06	2421,29 ± 103,72	< 0,001***
Mean F4 (Hz)	3435,90 ± 93,31	3802,71 ± 92,55	0,004**
Jitter (%)	1,61 ± 0,63	3,85 ± 0,81	< 0,001***
Shimmer (%)	14,93 ± 1,7	19,08 ± 1,8	< 0,001***
Harmonicity (dB)	7,12 ± 0,17	7,66 ± 0,18	0,198
Intensity (dB)	48,74 ± 3,35	57,59 ± 4,37	< 0,001***

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para o teste de variância para cada um das características acústicas analisadas, onde é possível observar que apenas para F0 max e para a harmonia não houveram diferenças significativas entre as vocalizações de confinamento e manejo.

Os resultados obtidos destacam que, para a maioria dos parâmetros analisados, as vocalizações de animais durante o manejo apresentam médias estatisticamente distintas em comparação com as vocalizações durante o confinamento. Essa disparidade sugere que o contexto do manejo pode influenciar significativamente as características acústicas das vocalizações dos animais, indicando a existência de padrões distintos entre os dois cenários.

Para a frequência fundamental (F0), tanto a média quanto o mínimo mostram diferenças significativas entre os grupos de confinamento e manejo ($p < 0,001$), sendo a média maior no grupo de manejo. No entanto, a frequência fundamental máxima (Max F0) não apresentou diferença significativa entre os grupos ($p = 0,1133$). Os resultados obtidos indicam uma variação considerável na modulação vocal entre os contextos de confinamento e manejo.

As médias dos primeiros quatro formantes (F1, F2, F3, F4) exibiram diferenças significativas entre os grupos ($p < 0,001$), sendo as médias dos formantes no grupo de manejo consistentemente superiores em comparação com o grupo de confinamento. Esses resultados sugerem que as características espectrais da vocalização bovina são sensíveis às condições de manejo, possivelmente refletindo a influência do ambiente na produção vocal dos animais.

Para os parâmetros de variabilidade vocal, *jitter* e *shimmer*, há diferenças significativas entre os grupos ($p < 0,001$), ambos sendo maiores no grupo de manejo. Em relação ao parâmetro de *jitter*, constatou-se que os animais em manejo apresentaram vocalizações com índices mais elevados ($3,85 \pm 0,81\%$) em comparação com o grupo de confinamento ($1,61 \pm 0,63\%$). Essa diferença na variabilidade temporal das vocalizações pode indicar uma resposta vocal mais instável ou agitada nos bovinos submetidos ao manejo. Analisando o parâmetro *shimmer*, observou-se que o grupo de manejo apresentou um índice de variação maior ($19,08 \pm 1,8\%$) em comparação com o grupo de confinamento ($14,93 \pm$

1,7%). Isso sugere uma maior variação na amplitude das vocalizações nos bovinos sob condições de manejo, indicando possíveis alterações na regularidade e estabilidade vocal.

A medida de harmonia em decibéis não mostrou diferença significativa entre os grupos ($p = 0,198$), com médias de $7,12 \pm 0,17$ (confinamento) e $7,66 \pm 0,18$ (manejo). Isso sugere que, ao contrário de outros parâmetros, a harmonia vocal não foi afetada de maneira significativa pelas condições de manejo.

No que se refere à intensidade vocal, constatou-se que o grupo de manejo exibiu uma intensidade vocal mais elevada ($57,59 \pm 4,37$ dB) em comparação com o grupo de confinamento ($48,74 \pm 3,35$ dB), apresentando diferença significativa entre os grupos ($p < 0,001$). Essa diferença sugere uma vocalização mais intensa em situações de manejo, indicando uma resposta vocal mais vigorosa e enérgica nessas condições.

Esses resultados indicam que as condições de manejo têm um impacto significativo nas características vocais, com diferenças significativas em parâmetros como frequência fundamental, formantes, variabilidade vocal e intensidade entre os grupos de confinamento e manejo.

Em comparação aos trabalhos encontrados na literatura, é possível observar semelhanças nos resultados. A tabela 2 sintetiza os principais resultados obtidos na literatura sobre as diferenças nos parâmetros acústicos das vocalizações de bovinos em condições diversas, proporcionando uma análise mais detalhada das similaridades e diferenças entre os resultados encontrados.

Tabela 2. Comparação entre os resultados obtidos e a literatura

	Present work	Yajuvendra (2013)	Padilla (2015)	Yeon (2006)	Green (2020)
Mean F0 (Hz)	172 - 276	191	81 - 152	214 - 221	183 - 286
Min F0 (Hz)	81 - 132	78	74 - 121	NA	66 - 76
Max F0 (Hz)	436 - 458	352	84 - 198	NA	473 - 559
Mean F1 (Hz)	848 - 940	689 - 1015	228 - 391	784 - 832	NA
Mean F2 (Hz)	1445 - 1582	1675 - 1942	634 - 1162	1710 - 1570	NA
Mean F3 (Hz)	2029 - 2421	3079 - 3412	1064 - 1939	2418 - 2675	NA
Mean F4 (Hz)	3435 - 3802	4939 - 5296	1513 - 2722	3818 - 3559	NA
Jitter (%)	1,61 - 3,85	1,09 - 2,77	2 - 4	NA	1 - 5
Shimmer (%)	14 - 19	4,85 - 8,97	15 - 17	NA	9 - 18
Harmonicity (dB)	7,12 - 7,66	5,86 - 12,71	NA	NA	7,72 - 11,97
Intensity (dB)	48 - 57	60 - 87	NA	68 - 71	NA

Em conformidade com as descobertas da literatura, que destacam diferenças significativas entre animais em condições distintas, a análise acústica revelou que as vocalizações de bovinos sob estresse apresentam parâmetros acústicos diferentes daqueles produzidos por bovinos em situações normais, especialmente em relação às propriedades de frequência.

Ao comparar os resultados médios obtidos com os de estudos similares, observa-se que os valores estão em faixas próximas, o que sugere que os dados são confiáveis e estão alinhados com o esperado para vocalizações de gado bovino. Essa consistência fortalece a validade dos resultados e a sua contribuição para uma melhor compreensão dos padrões de vocalizações associados ao estresse animal.

4 Conclusão

A pecuária bovina de corte é uma das principais fontes de renda no Brasil. No entanto, enfrenta desafios para aprimorar sua produtividade, sendo um ponto crucial a crescente exigência dos consumidores e dos países exportadores quanto à qualidade da carne bovina e a garantia de qualidade de vida dos animais, demandando produtos de maior qualidade.

Nesse sentido, há um foco de estudos que objetivam analisar e identificar o estresse de animais. A análise acústica surge com uma das principais formas de estudar o bem-estar animal, uma vez em que precários níveis de bem-estar estão fortemente relacionados com a perda da qualidade do produto final.

Assim, esse trabalho teve como objetivo a análise acústica de vocalizações em momentos psicologicamente distintos para os animais com a finalidade de identificar mudanças nos parâmetros vocais dos animais quando submetidos a condições estressantes.

Os resultados encontrados pela pesquisa, em concordância com estudos na literatura, revelaram que bovinos submetidos a condições psicologicamente estressantes tendem a produzir vocalizações com parâmetros significativamente diferentes daqueles em condições não estressantes.

Como trabalhos futuros, busca-se avançar na pesquisa com a expansão da base de dados com a inclusão vocalizações em condições adicionais além do estudo de uma maior variedade de parâmetros acústicos. Nossas bases de dados também serão tornadas públicas, dentro dos princípios FAIR de ciência aberta. Essas iniciativas podem aprimorar ainda mais a caracterização de vocalizações de estresse, consolidando assim o avanço no desenvolvimento de métodos não invasivos para monitoramento do bem-estar animal na indústria pecuária.

A pesquisa possui potencial para contribuir com o avanço do conhecimento sobre as características de vocalizações animais em condições normais e de estresse, enriquecendo o estado atual do conhecimento nesse campo de estudo. Além disso, pode servir de estímulo para que novos trabalhos investiguem o estresse animal por meio das vocalizações emitidas.

Referências

1. da Costa, P., JR, M.: *Ambiência na produção de bovinos de corte a pasto*. Anais de Etologia **18**, 26–42 (2000)
2. Gerhard, D., et al.: *Pitch extraction and fundamental frequency: History and current techniques*. Department of Computer Science, University of Regina Regina, SK, Canada (2003)

3. Green, A.C.: Decoding Holstein-Friesian dairy cattle vocalisations: Applications for welfare assessment. Ph.D. thesis, University of Sydney (2020)
4. IBGE: Indicadores da produção pecuária (2018)
5. Ikeda, Y., Ishii, Y.: Recognition of two psychological conditions of a single cow by her voice. *Computers and electronics in agriculture* **62**(1), 67–72 (2008)
6. Jorquera-Chavez, M., Fuentes, S., Dunshea, F.R., Jongman, E.C., Warner, R.D.: Computer vision and remote sensing to assess physiological responses of cattle to pre-slaughter stress, and its impact on beef quality: A review. *Meat science* **156**, 11–22 (2019)
7. Lee, J., Noh, B., Jang, S., Park, D., Chung, Y., Chang, H.H.: Stress detection and classification of laying hens by sound analysis. *Asian-Australasian journal of animal sciences* **28**(4), 592 (2015)
8. Lee, J., Zuo, S., Chung, Y., Park, D., Chang, H.H., Kim, S.: Formant-based acoustic features for cow's estrus detection in audio surveillance system. In: 2014 11th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS). pp. 236–240. IEEE (2014)
9. Linhart, P., Ratcliffe, V.F., Reby, D., Špinka, M.: Expression of emotional arousal in two different piglet call types. *PloS one* **10**(8), e0135414 (2015)
10. Maigrot, A.L., Hillmann, E., Briefer, E.F.: Encoding of emotional valence in wild boar (*sus scrofa*) calls. *Animals* **8**(6), 85 (2018)
11. Meen, G., Schellekens, M., Slegers, M., Leenders, N., Van Erp-van der Kooij, E., Noldus, L.P.: Sound analysis in dairy cattle vocalisation as a potential welfare monitor. *Computers and Electronics in Agriculture* **118**, 111–115 (2015)
12. Molento, C.F.M.: Bem-estar e produção animal: aspectos econômicos-revisão. *Archives of Veterinary Science* **10**(1) (2005)
13. Moura, D., Silva, W., Naas, I., Tolón, Y., Lima, K., Vale, M.: Real time computer stress monitoring of piglets using vocalization analysis. *Computers and Electronics in Agriculture* **64**(1), 11–18 (2008)
14. de la Torre, M.P., Briefer, E.F., Reader, T., McElligott, A.G.: Acoustic analysis of cattle (*bos taurus*) mother-offspring contact calls from a source-filter theory perspective. *Applied Animal Behaviour Science* **163**, 58–68 (2015). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.applanim.2014.11.017>
15. Yajuvendra, S., Lathwal, S.S., Rajput, N., Raja, T.V., Gupta, A.K., Mohanty, T.K., Ruhil, A.P., Chakravarty, A.K., Sharma, P.C., Sharma, V., et al.: Effective and accurate discrimination of individual dairy cattle through acoustic sensing. *Applied Animal Behaviour Science* **146**(1-4), 11–18 (2013)
16. Yeon, S.C., Jeon, J.H., Houpt, K.A., Chang, H.H., Lee, H.C., Lee, H.J.: Acoustic features of vocalizations of korean native cows (*bos taurus coreana*) in two different conditions. *Applied animal behaviour science* **101**(1-2), 1–9 (2006)