



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**MAGNO DO NASCIMENTO AMORIM**

**MONITORAMENTO ELETRÔNICO DO COMPORTAMENTO  
INGESTIVO EM PEQUENOS RUMINANTES**

**JUAZEIRO - BA**

**2021**

**MAGNO DO NASCIMENTO AMORIM**

**MONITORAMENTO ELETRÔNICO DO COMPORTAMENTO  
INGESTIVO EM PEQUENOS RUMINANTES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, Campus Juazeiro – BA, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientadora: Profa. Dra. Silvia Helena Nogueira Turco

Coorientador: Prof. Dr. Daniel dos Santos Costa

**JUAZEIRO - BA**

**2021**

A524m Amorim, Magno do Nascimento.  
Monitoramento eletrônico do comportamento ingestivo em pequenos ruminantes /  
Magno do Nascimento Amorim. – Juazeiro - BA, 2021.  
xv, 64 f.: il.; 29 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do  
São Francisco, Campus Juazeiro-BA, 2021.

Orientadora: Profa. Dra. Sílvia Helena Nogueira Turco.

1. Zootecnia - Desenvolvimento de sistema. 2. Zootecnia de precisão. 3. Pecuária  
digital. 4. Bem-estar animal. I. Título. II. Turco, Sílvia Helena Nogueira. III. Universidade  
Federal do Vale do São Francisco.

CDD 636.08

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

Magno do Nascimento Amorim

**MONITORAMENTO ELETRÔNICO DO COMPORTAMENTO INGESTIVO EM  
PEQUENOS RUMINANTES**

Dissertação apresentada como requisito para  
obtenção do título de Mestre em Engenharia  
Agrícola, pela Universidade Federal do Vale do  
São Francisco.

Aprovada em: 16 de dezembro de 2021.

**Banca Examinadora**



\_\_\_\_\_  
Dra. Silvia Helena Nogueira Turco – UNIVASF



\_\_\_\_\_  
Dr. Daniel dos Santos Costa – UNIVASF



\_\_\_\_\_  
Dr. Pablo Teixeira Leal de Oliveira – IF-Sertão



\_\_\_\_\_  
Dr. Dian Lourençoni – UNIVASF



\_\_\_\_\_  
Dr. Héilton Pandorfi – UFRPE

À minha família....

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por todo amor que tem por mim, por todas as situações que fui colocado a prova e superei, por todos os caminhos que fui guiado, mesmo sem eu saber se era o melhor para mim, por toda paz que me proporcionou mesmo eu estando em situação de desespero, enfim, obrigado meu Deus.

Agradeço também aos meus pais, João Bosco e Maria das Graças, por sempre apoiarem as minhas decisões, por nunca interferirem naquilo que eu quis, por todo apoio e dedicação e, principalmente, por serem a minha base de amor e princípios. E também ao meu irmão, Márcio.

À Flávia, minha namorada, que durante todo tempo me deu forças para seguir adiante nas etapas desse mestrado, que não me fez desistir diante das inúmeras vezes que o protótipo deu errado e sempre me incentivou a fazer as coisas, além de todo amor e paciência que tem comigo, obrigado por tudo, amo você.

À UNIVASF que mesmo com seus problemas foi a minha segunda casa durante anos... onde sempre me senti bem, acolhido e confortável... Ficam meus agradecimentos de coração a todos os funcionários, em especial os terceirizados, que nunca tiraram o sorriso do rosto e estavam sempre à disposição para ajudar, além de desempenhar muito bem as suas funções.

Ao Colegiado de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola por todo conhecimento transmitido. Todos os professores, de certa forma, deixaram algo que acrescentou na minha vida pessoal e profissional. Em especial, ao professor Miguel, que sempre ministrou uma excelente aula e prontificou-se a me ajudar em todos os momentos que precisei. À Carol, secretária da pós, também fica meus agradecimentos por toda ajuda.

Aos amigos que fiz e pretendo levar para o resto da minha vida... Sendo eles o pessoal do Sobreviventes 2013.2, o pessoal do Lacif, Laca, Lena, Nesatec e de todos que me aproximei pagando as disciplinas. Especialmente, à Alan, Andreza, Wotson, Edson, Jeisa, Matheus, Ingrid, Carla e Tales, amigos que fiz durante essa jornada e que sempre me apoiaram.

À Vanusia por todo amor e carinho que teve por mim durante todos esses anos de Univasf. Pode ter certeza que te devo muito e que muitas conquistas que tive

foi graças a você, tanto na graduação como na pós-graduação ... uma pessoa sempre disposta a ajudar o próximo, com o sorriso no rosto e que merece tudo de bom.

Ao Wedson, por ter sido a luz no fim do túnel para mim, com o direcionamento sobre como estruturar e montar a placa do protótipo, além do software que deveria ser usado.

Ao professor Aliçandro por me orientar por mais de 4 anos... por todos os ensinamentos passados, por me obrigar a ser responsável e saber trabalhar sob pressão, por todos os conselhos e ajuda que me deu durante esse tempo.

À minha orientadora Sílvia Turco, que sempre esteve disposta a me ajudar, colaborar em tudo que foi preciso, pelos incentivos recebidos, por não ter deixado eu desistir desse projeto, sem dúvidas a senhora me ajudou bastante como profissional.

Ao professor e coorientador Daniel Costa, por todo auxílio dado durante esses anos, com seus bons direcionamentos e boas colocações.

Por último, agradeço a todos que de certa forma fizeram parte da minha vida durante esse tempo na faculdade e que contribuíram para eu chegar aonde cheguei.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

“Tal é a confiança que temos diante de Deus, por meio de Cristo. Não que possamos reivindicar qualquer coisa com base em nossos próprios méritos, mas a nossa capacidade vem de Deus. Ele nos capacitou para sermos ministros de uma nova aliança, não da letra, mas do Espírito; pois a letra mata, mas o Espírito vivifica.”

2 Coríntios 3:4-6



## RESUMO

O comportamento ingestivo é um importante indicador que auxilia as práticas de manejo, visando a garantia sanitária, o aumento da produtividade e a longevidade dos animais. Por outro lado, as metodologias utilizadas para identificação comportamental são exaustivas e cansativas para os observadores, além de sofrerem variações entre duração e intervalo nas observações, o que pode ocasionar erros nas respostas obtidas. Nesse sentido, esta pesquisa foi conduzida com o objetivo de desenvolver um protótipo, responsável pela aquisição de dados dos parâmetros de comportamento ingestivo em ovinos. Para isso, o equipamento foi desenvolvido na Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), tendo como principais componentes os sensores de som KY-038 e de aceleração ADXL345. A validação e a análise de desempenho do protótipo foram realizadas utilizando ovinos mestiços da raça Santa Inês e Dorper. Os registros dos dados foram definidos para ocorrer a cada segundo, sendo testado em seis ovinos durante aproximadamente duas horas, repetindo três vezes no mesmo animal em dias diferentes. As atividades de alimentação, ruminação e ócio dos animais foram marcadas em planilha a cada um minuto pelo observador, simultaneamente à obtenção dos dados pelo protótipo, além de serem filmados durante toda análise. Os resultados dos sensores foram submetidos à análise de variância e comparados com o teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). Além disso, foram submetidos a teste de regressão, geração dos resíduos, erro médio percentual (MAPE), raiz quadrada do erro médio quadrático (RMSE) e erro absoluto médio (EAM), entre as informações obtidas pelo equipamento com as informações observadas pelo avaliador nos intervalos de 1, 5, 10, 15 e 20 minutos. Através dos dados do ADXL345 foi possível diferenciar as atividades de alimentação, ruminação e ócio. A maior representatividade das variáveis do acelerômetro foi obtida durante a alimentação, pois nessa atividade os eixos x, y e z estão envolvidos na detecção dos diferentes movimentos. O ADXL345 apresentou elevado coeficiente de determinação para avaliação de comportamento ingestivo em ovinos, sendo eles de 97,75, 99,19 e 97,95% para o tempo de alimentação, ruminação e ócio, respectivamente. Para o intervalo de 1 min o MAPE foi de 7,78, 10,80 e 11,28% para atividade de alimentação, ruminação e ócio, respectivamente. Por meio do sensor de som KY-038 não foi possível determinar as atividades de comportamento ingestivo, não apresentando diferenças significativas entre elas. Portanto, o protótipo foi capaz de discriminar os parâmetros de comportamento ingestivo em ovinos, além disso, o uso do ADXL345 surge como alternativa para superar as dificuldades encontradas nas metodologias de observação visual, pois permite a identificação real das atividades, sendo que a utilização da metodologia visual pode ocasionar em respostas menos precisas, porque quanto maior o intervalo de observação, maior será o erro das informações obtidas.

**Palavras-chave:** pecuária digital; zootecnia de precisão; bem-estar animal.

## ABSTRACT

Ingestive behavior is an important indicator that aids management practices, aiming at health assurance, increased productivity and longevity of animals. On the other hand, the methodologies used for behavioral identification are exhaustive and tiring for the observers, besides suffering variations between duration and interval in the observations, which can cause errors in the answers obtained. In this sense, this research was conducted with the objective of developing a prototype, responsible for the data acquisition of the ingestive behavior parameters in sheep. For this, the equipment was developed at the Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), having as main components the sound sensor KY-038 and acceleration sensor ADXL345. The validation and performance analysis of the prototype were performed using mixed breed sheep of the Santa Inês and Dorper breeds. Data recording was set to occur every second, being tested on six sheep for approximately two hours, repeating three times on the same animal on different days. The feeding, rumination, and idleness activities of the animals were recorded in a spreadsheet every minute by the observer, simultaneously with the data acquisition by the prototype, and filmed throughout the analysis. The results of the sensors were submitted to variance analysis and compared with the Scott-Knott test ( $p < 0.05$ ). In addition, they were submitted to regression testing, generation of residuals, mean percentage error (MAPE), root mean square error (RMSE) and mean absolute error (MAS), between the information obtained by the equipment with the information observed by the evaluator at intervals of 1, 5, 10, 15 and 20 minutes. Through the ADXL345 data it was possible to differentiate the feeding, rumination and idleness activities. The highest representativeness of the accelerometer variables was obtained during feeding, because in this activity the x, y and z axes are involved in the detection of different movements. The ADXL345 presented a high determination coefficient for the evaluation of ingestive behavior in sheep, being 97.75, 99.19 and 97.95% for the time of feeding, rumination and idleness, respectively. For the 1 min interval the MAPE was 7.78, 10.80 and 11.28% for feeding, rumination and idle activity, respectively. Using the KY-038 sound sensor, it was not possible to determine the ingestive behavior activities, showing no significant differences between them. Therefore, the prototype was able to discriminate the parameters of ingestive behavior in sheep, moreover, the use of ADXL345 arises as an alternative to overcome the difficulties encountered in the methodologies of visual observation, because it allows the real identification of activities, and the use of visual methodology can lead to less accurate answers, because the longer the observation interval, the greater the error of the information obtained.

**Keywords:** digital livestock; precision animal production; animal welfare.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1</b> - Diagrama do sistema para monitoramento de comportamento ingestivo.  | 30 |
| <b>Figura 2</b> - (A) Protótipo no animal. (B) Protótipo para avaliação de comportamento ingestivo.   | 30 |
| <b>Figura 3</b> - Microcontrolador Atmega328p.  | 32 |
| <b>Figura 4</b> - Sensor de som KY-038.   | 33 |
| <b>Figura 5</b> - Sensor acelerômetro ADXL345.  | 33 |
| <b>Figura 6</b> - Módulo Cartão SD Card.  | 34 |
| <b>Figura 7</b> - Regulador de tensão LM7805.   | 35 |
| <b>Figura 8</b> - Protótipo testado no animal e direção dos eixos X, Y e Z do ADXL345.  | 37 |
| <b>Figura 9</b> - (A) Observador avaliando o comportamento ingestivo. (B) Filmagem da atividade dos animais.  | 37 |
| <b>Figura 10</b> - Gráficos do animal 1 gerados pelo protótipo por meio do sensor de som (A), pela observação do avaliador (B) e pelo acelerômetro (C).                                     | 41 |
| <b>Figura 11</b> - Gráficos do animal 4 gerados pelo protótipo por meio do sensor de som (A), pela observação do avaliador (B) e pelo acelerômetro (C).                                     | 41 |
| <b>Figura 12</b> - Gráficos do animal 5 gerados pelo protótipo por meio do sensor de som (A), pela observação do avaliador (B) e pelo acelerômetro (C).                                     | 42 |
| <b>Figura 13</b> - Regressão linear do tempo de alimentação (TA) obtido pelo protótipo em relação ao observado nos intervalos de 1 min (A), 5 min (B), 10 min (C), 15 min (D) e 20 min (E). | 49 |
| <b>Figura 14</b> - Regressão linear do tempo de ruminação (TP) obtido pelo protótipo em relação ao observado nos intervalos de 1 min (A), 5 min (B), 10 min (C), 15 min (D) e 20 min (E).   | 50 |
| <b>Figura 15</b> - Regressão linear do tempo de ócio (TO) obtido pelo protótipo em relação ao observado nos intervalos de 1 min (A), 5 min (B), 10 min (C), 15 min (D) e 20 min (E).        | 51 |
| <b>Figura 16</b> - Resíduos do tempo de alimentação (TA) obtido pelo protótipo em relação ao observado nos intervalos de 1 min (A), 5 min (B), 10 min (C), 15 min (D) e 20 min (E).         | 52 |
| <b>Figura 17</b> - Resíduos do tempo de ruminação (TP) obtido pelo protótipo em relação ao observado nos intervalos de 1 min (A), 5 min (B), 10 min (C), 15 min (D) e 20 min (E).           | 53 |

**Figura 18** - Resíduos do tempo de ócio (TO) obtido pelo protótipo em relação ao observado nos intervalos de 1 min (A), 5 min (B), 10 min (C), 15 min (D) e 20 min (E). .....54

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela 1</b> - Equações das análises área de magnitude do sinal (SMA), magnitude do vetor do sinal (SVM), variação do movimento, energia, entropia, <i>pitch</i> , <i>roll</i> e inclinação. ....                                  | 39 |
| <b>Tabela 2</b> - Equações das análises Erro Médio Percentual (MAPE), Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático (RMSE) e Erro Absoluto Médio (EAM). ....   | 40 |
| <b>Tabela 3</b> - Média, desvio padrão, mínimo e máximo da resposta do sensor KY-038 para atividades de alimentação, ruminação e ócio.....  | 43 |
| <b>Tabela 4</b> - Valores médios e desvio padrão dos eixos X, Y e Z do ADXL345 em relação as atividades de alimentação, ruminação e ócio dos ovinos. ....   | 45 |
| <b>Tabela 5</b> - Valores mínimos e máximos dos eixos X, Y e Z do ADXL345 em relação as atividades de alimentação, ruminação e ócio dos ovinos. ....  | 46 |
| <b>Tabela 6</b> - Valores do SMA, SVM, variação do movimento, energia, entropia, <i>pitch</i> , <i>roll</i> e inclinação por meio do ADXL345 em relação as atividades de alimentação, ruminação e ócio dos ovinos. ....               | 47 |
| <b>Tabela 7</b> - Erro Médio Percentual (MAPE), Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático (RMSE) e Erro Absoluto Médio (EAM) entre os dados obtidos pelo protótipo e os observados nos diferentes intervalos e atividades do animal..... | 55 |
| <b>Tabela 8</b> - Custo total do protótipo desenvolvido. ....   | 56 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|         |  |
|---------|--|
| A/D     | Analógico/Digital  |
| ASCII   | Código Padrão Americano para o Intercâmbio de Informação |
| CEUA    | Comissão de Ética no Uso de Animais                      |
| EAM     | Erro Absoluto Médio                                      |
| I/O     | Input/Output ou Entrada/Saída                            |
| I2C     | Inter-Integrated Circuit ou Circuito Inter-integrado     |
| IBGE    | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística          |
| IoT     | Internet of Things ou Internet das Coisas                |
| LED     | Light emitter diode ou Diodo emissor de luz              |
| LENA    | Laboratório de Energia na Agricultura                    |
| mAh     | Miliampères  |
| MAPE    | Erro Médio Percentual                                    |
| nF      | Nanofarad  |
| RMSE    | Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático                   |
| SMA     | Signal magnitude area ou Área de magnitude do sinal      |
| SPI     | Serial Peripheral Interface                              |
| SVM     | Signal magnitude vector ou Magnitude do vetor do sinal   |
| TA      | Tempo em alimentação                                     |
| TO      | Tempo em ócio  |
| TP      | Tempo em ruminação                                       |
| UNIVASF | Universidade Federal do Vale do Francisco                |
| V       | Volts  |

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO.....   | 16        |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....   | 18        |
| 2.1. IMPORTÂNCIA DA PRODUÇÃO ANIMAL .....  | 18        |
| 2.2. IMPORTÂNCIA DO BEM-ESTAR .....  | 19        |
| <b>2.2.1. para o comportamento animal.....</b>   | <b>20</b> |
| <b>2.2.2. para a saúde animal .....</b>  | <b>21</b> |
| <b>2.2.3. para o desenvolvimento do rúmen .....</b>  | <b>22</b> |
| 2.3. COMPORTAMENTO INGESTIVO .....   | 22        |
| 2.4. ELETRÔNICA NA AGROPECUÁRIA.....   | 24        |
| <b>2.4.1. Internet das Coisas (IoT).....</b>   | <b>24</b> |
| <b>2.4.2. Pecuária de precisão.....</b>  | <b>25</b> |
| 2.5. TÉCNICAS UTILIZADAS NA PECUÁRIA DE PRECISÃO PARA<br>AVALIAÇÃO DE COMPORTAMENTO INGESTIVO..... | 26        |
| <b>2.5.1. Bioacústica.....</b>   | <b>26</b> |
| <b>2.5.2. Sensores de Aceleração .....</b>   | <b>27</b> |
| 3. OBJETIVOS.....  | 29        |
| 3.1. OBJETIVO ESPECÍFICO.....  | 29        |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS .....  | 30        |
| 4.1. PROTÓTIPO .....   | 30        |
| <b>4.1.1. Microcontrolador .....</b>   | <b>31</b> |
| <b>4.1.2. Sensor de som.....</b>   | <b>32</b> |
| <b>4.1.3. Sensor de aceleração.....</b>  | <b>33</b> |
| <b>4.1.4. Armazenamento de dados .....</b>   | <b>34</b> |
| <b>4.1.5. Alimentação .....</b>  | <b>34</b> |
| 4.2. <i>FIRMWARE</i> DO PROTÓTIPO.....   | 35        |
| 4.3. VALIDAÇÃO E DESEMPENHO DO PROTÓTIPO .....   | 36        |
| 4.4. ANÁLISE DOS DADOS.....  | 38        |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....  | 41        |
| 6. CONCLUSÕES .....  | 57        |
| REFERÊNCIAS.....   | 58        |

## 1. INTRODUÇÃO

O estudo sobre bem-estar de animais teve seu início na década de 1970, sendo um termo que descreve uma qualidade potencialmente mensurável de um animal vivo em um determinado momento, portanto, é um conceito científico (BROOM, 2011). Esse bem-estar é seu estado em relação às suas tentativas de adaptar-se ao seu ambiente (BROOM, 1986).

Já de acordo com Alves *et al.*, (2019), o bem-estar animal é um conceito amplo que está relacionado com sua qualidade de vida e capacidade de manter-se saudável no sistema em que vive. Sendo assim, as alterações da fisiologia e do comportamento animal podem ser indicativas de comprometimento desse conforto. Nesse viés, um dos entendimentos para melhorar o bem-estar animal está relacionado a sua alimentação, que pode ser adquirido por meio da avaliação do comportamento ingestivo.

O estudo do comportamento ingestivo é um instrumento efetivo na definição de estratégias apropriadas de manejo para oferecer alimentos e cuidados sanitários, visando manter os animais em boas condições e, conseqüentemente, melhorar o desempenho produtivo do rebanho. Segundo Moreira *et al.*, (2018), esse estudo pode nortear a adequação de manejo, tencionando o aumento da produtividade e do bem-estar dos animais.

Esse comportamento ingestivo é embasado em três atividades principais, sendo elas: a ruminação, o pastejo ou alimentação e o ócio, em que distintos alimentos são capazes de provocar modificações nessas atividades. Entretanto, esse método acaba sendo demorado e exaustivo para o observador, pode restringir a realização de experimentos em larga escala, além de não haver total uniformização entre os métodos utilizados nesses estudos.

Diversas são as metodologias empregadas para sua caracterização e determinação, ocorrendo diferenças entre duração de avaliação, intervalo de observações e número de turnos e repetições, o que pode ocasionar informações com baixa acurácia (SANTANA JUNIOR *et al.*, 2014). Em estudos de comportamento ingestivo, pesquisadores como: Barbosa *et al.*, (2016), Leite *et al.*, (2020) e Macedo Junior *et al.*, (2019), utilizaram intervalo de observação a cada cinco minutos e outros como: Oliveira *et al.*, (2016) e Pereira *et al.*, (2019), a cada dez minutos.



Nesse sentido, a pecuária digital vem para resolver essas barreiras, pois, de acordo com Pereira (2015) tem como objetivo melhorar a mensuração dos indicadores produtivos, comportamentais e fisiológicos em benefício da saúde, produtividade e bem-estar animal. Está baseada na coleta de dados de forma automatizada e em tempo real, o que gera bancos de dados para serem interpretados, além de promover suporte na tomada de decisão (BERCKMANS, 2014).

Um exemplo desse segmento é a utilização da bioacústica, que de acordo com Volpi *et al.*, (2018) é um método que utiliza equipamentos simples para o registro de respostas sonoras de diferentes naturezas, apresentando resultados animadores na avaliação do comportamento ingestivo. Outro exemplo, é a utilização de sensores de aceleração que identifica a intensidade, duração e frequência de determinada atividade animal, bem como transmite essas informações para o receptor (DIOSDADO *et al.*, 2015).

Nessa perspectiva, é importante o desenvolvimento de ferramentas para auxiliar no controle dos processos produtivos e promover estudos na área de nutrição animal com maior precisão. Permitindo assim, a obtenção de informações de comportamento ingestivo para a realização de estratégias apropriadas de manejo, manutenção do bem-estar animal e melhoramento do desempenho produtivo do rebanho.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. IMPORTÂNCIA DA PRODUÇÃO ANIMAL

Segundo Gomes *et al.*, (2017), atualmente o Brasil é um país protagonista no comércio e produção de carne, em virtude do seu processo produtivo bem estruturado, principalmente na bovinocultura, que permitiu uma elevação na produtividade, qualidade do produto, competitividade e abrangência de mercado.

Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), apontam o efetivo de animais de produção ultrapassando 235 milhões, sendo a região Nordeste representada por 18,09% desses animais. Nesse sentido, essa região tem grande relevância sobre essa produção, assumindo papel importante sobre as questões sociais, econômicas e culturais, com destaque para a produção de caprinos e ovinos. Ainda de acordo com os dados do IBGE (2017), os estados da Bahia, Piauí, Ceará e Pernambuco representam 31,41, 21,04, 16,14 e 15,27%, respectivamente, do efetivo de caprinos e ovinos da região Nordeste.

Para Batista e Souza (2015), a caprinovinocultura é uma atividade de extrema importância no contexto econômico e sociocultural em virtude da geração de fonte de renda para pequenos produtores, da fixação do homem no campo e da perpetuação da atividade produtiva para as gerações seguintes. Além disso, conforme Correia *et al.*, (2001), essa atividade ganhou destaque pela busca de carne com menor teor de gordura e maior retorno econômico para o produtor, quando comparado há outras espécies de exploração como a bovinocultura de corte.

Segundo Magalhães *et al.*, (2020), as projeções indicam o crescimento de rebanhos caprinos e ovinos em virtude do investimento na criação desses pequenos ruminantes em função da sua capacidade de adaptação aos fatores climáticos adversos da região Nordeste. Ainda de acordo com os autores acima citados, as carnes caprina e ovina têm ocupado espaços consideráveis com o impulso dos mercados regionais, que valorizou a gastronomia regional e tornou essa proteína animal mais presente na mesa do consumidor.

Por outro lado, nessa região prevalece uma pecuária de baixa produtividade, com alta mortalidade dos rebanhos e deficiência sobre alternativas para redução de custos de produção e aumento de produtividade, em que o baixo nível

tecnológico empregado nesses sistemas acaba sendo um dos fatores que interfere na baixa produtividade desses animais (CORREIRA *et al.*, 2001; FASIABEN *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2015).

Uma forma para melhorar a produtividade pode estar associado à manutenção do bem-estar dos animais, pois através dele os animais têm maior desempenho fisiológico. Esse bem-estar animal pode ser intensificado com a inserção de tecnológicas capazes de monitorar os parâmetros relacionados ao conforto do ambiente e nutricional.

## 2.2. IMPORTÂNCIA DO BEM-ESTAR

O bem-estar de um indivíduo é definido como seu estado em relação às suas tentativas de adaptar-se ao seu ambiente, tendo relação com suas necessidades, liberdades, adaptações, sofrimentos, estresses, entre outras características (BROOM, 1986; MOLENTO, 2005).

Para Alves *et al.*, (2019), o bem-estar animal é um conceito amplo que está relacionado com sua qualidade de vida e capacidade de manter-se saudável no sistema em que vive. Sendo assim, as alterações da fisiologia e do comportamento animal podem ser indicativas de comprometimento desse conforto.

Para que um animal esteja em bem-estar, devem ser avaliados em relação à saúde, conforto, nutrição e capacidade de expressar comportamento natural, além de assegurar que não sofram sensações desagradáveis por meio da prevenção de doenças, tratamentos veterinários, manejo nutricional, instalações adequadas e abate ou eutanásia humanitário (FREITAS; QUIRINO; BASTOS, 2017).

De acordo com Braga *et al.*, (2018), as possíveis divergências existentes entre os sistemas produtivos e às necessidades dos animais podem ser minorados pelos benefícios econômicos provenientes da melhoria no bem-estar dos animais, que pode alcançar a redução da taxa de morbidade e mortalidade; a melhoria do status de saúde com maior resistência às doenças; o menor uso de medicamentos; a diminuição do risco de zoonoses e de doenças transmitidas por alimentos.

Os avanços para a melhoria do bem-estar animal provêm da evolução e aprimoramento de manejo, além de técnicas e equipamentos utilizados nos processos produtivos. Por meio das informações obtidas através do monitoramento dos sistemas

de produção é possível determinar uma escala de bem-estar, variando de um grau muito alto até muito baixo (BROOM; MOLENTO, 2004; COSTA; SANT'ANNA, 2016).

Na criação de caprinos e ovinos esses avanços permitem uma melhor interação entre o homem e o animal, possibilitando a identificação dos fatores negativos que podem prejudicar a saúde, ocasionar a diminuição do bem-estar e acarretar consequências indesejáveis à produtividade do animal (FREITAS; QUIRINO; BASTOS, 2017).

### **2.2.1. para o comportamento animal**

De acordo com Ceballos e Sant'Anna (2018), o estudo do comportamento animal tem sido uma ferramenta proveitosa e amplamente utilizada para a avaliação do bem-estar. Para Vieira *et al.*, (2016), o comportamento é a ligação entre organismos e o ambiente, e entre o sistema nervoso e o ecossistema, sendo uma das principais propriedades da vida animal, pois tem um papel fundamental nas adaptações das funções biológicas.

Em relação ao comportamento e bem-estar animal, é necessário a compreensão sobre o comportamento normal e agonístico, o primeiro é o natural da espécie, ou seja, aquele que se desenvolveu ao longo da história evolutiva, já o segundo é uma manifestação que não seria apresentado quando em vida livre, ou seja, atípico da espécie.

Segundo Ceballos e Sant'Anna (2018), há muitos comportamentos normais que podem ser utilizados como indicadores de bem-estar, sendo eles: comportamento alimentar, comportamento relacionado às doenças, comportamento relacionado ao conforto, períodos de atividade/inatividade e comportamento social.

Já o comportamento agonístico, que levam em consideração estereotípias, automutilação, canibalismo, ou comportamento excessivamente agressivo, indica que o indivíduo se encontra em condições de baixo grau de bem-estar. Além disso, as respostas comportamentais dependem diretamente da interação dos animais com os seres humanos e da seleção genética para características desejáveis (BROOM; MOLENTO, 2004; CARENZI; VERGA, 2009).

O fato de um animal evitar ou esquivar-se fortemente de um objeto ou evento, fornece informações sobre seus sentimentos, evidenciando um desconforto e,

consequentemente, seu estresse (BROOM; MOLENTO, 2004; FILIPINI; DANTAS; MONTANHA, 2016).

Para Broom (1991), a avaliação do comportamento animal é importante para mensurar esse bem-estar, mas deve ser combinada com outras variáveis que levam em consideração fisiologia, imunologia, lesões, doenças, risco de morte, crescimento e reprodução, obtendo respostas mais completas. Conforme Ceballos e Sant'Anna (2018), os indicadores comportamentais de bem-estar contribuem para definir com precisão o estado do animal, variando de muito bom até muito ruim.

Em relação ao comportamento dos ovinos, são animais que vivem em bando e, geralmente, não são agressivos, mas experimentam medo, ansiedade e frustração durante manejos simples, acarretando pouco bem-estar e alterando seu comportamento (CAROPRESE, 2008).

### **2.2.2. para a saúde animal**

A saúde e o bem-estar dos animais são influenciados pela maneira como os sistemas são construídos e o potencial de influenciar esses sistemas. Esses sistemas incluem a liberdade de escolha dos animais, expressando suas preferências individuais, os aspectos climáticos, culturais e condições do entorno (VAARST; ALROE, 2012).

Na visão de Azevedo e Barçante (2018), o alto bem-estar animal ocorre quando ele está desfrutando de completa saúde física e mental, tendo suas necessidades satisfeitas, estando em harmonia com o ambiente e tendo interações positivas com o homem.

Fatores como doenças, ferimentos, dificuldades de locomoção e anormalidades de crescimento são indicativos de um baixo grau de bem-estar. Além disso, é difícil a identificação do grau de sofrimento associado a muitas doenças pelos animais (BROOM; MOLENTO, 2004).

É importante enfatizar que a saúde do animal é muito mais que a ausência de doença, alto desempenho e elevada produção, mas leva em consideração como sendo um animal saudável em um sistema em homeostase, o que significa que ele tem a capacidade de suportar choques e ajudar ou reagir a ambientes em mudança, além de reforçar o sistema imunológico (VAARST; ALROE, 2012).

De acordo com Lino, Pinheiro e Ortunho (2016) os ovinos são suscetíveis a muitas doenças, que se mal controladas por meio de manejo sanitário adequado, afetam a eficiência reprodutiva, prejudicam o desenvolvimento dos animais e provocam elevados índices de mortalidade.

Para ovinos, o bem-estar afeta positivamente sua saúde através do melhoramento nas instalações, com proteção contra temperaturas extremas e controle do clima, disponibilidade de espaço, higienização do ambiente, regime de luz e ventilação adequada (CAROPRESE, 2008).

### **2.2.3. para o desenvolvimento do rúmen**

Segundo Oliveira, Santos e Valença (2019), o estômago dos ruminantes é dividido em quatro compartimentos, sendo eles o rúmen, retículo, omaso e abomaso, onde os três primeiros abrigam os microrganismos e possuem atividade fermentativa, sendo importante destacar que a ingestão da forragem contribui no desenvolvimento do tamanho e volume do rúmen, retículo e omaso, já a ingestão do alimento concentrado desenvolve as estruturas (papilas ruminais) do rúmen.

De acordo com Caetano Júnior *et al.*, (2016), o desenvolvimento em termos de volume do rúmen-retículo só pode ser conseguido com a presença de alimentos volumosos e concentrados. Quando os animais não estão em bem-estar, pode ocorrer a redução da alimentação e, conseqüentemente, uma redução no desenvolvimento do rúmen.

Em ovinos a observação de estereotípias orais estão associadas ao fornecimento de dietas com alto teor de proteína bruta, afetando a produção do rúmen, onde os animais passam mais tempo mastigando e produzindo saliva, com o intuito de reduzir o efeito da acidez provocado no trato gástrico (YURTMAN *et al.*, 2002). Nesse sentido, um estudo de grande relevância relacionado a nutrição do animal é o de comportamento ingestivo.

## **2.3. COMPORTAMENTO INGESTIVO**

O estudo do comportamento ingestivo é um instrumento efetivo na definição de estratégias apropriadas de manejo para oferecer alimentos e cuidados sanitários, visando manter os animais em boas condições e, conseqüentemente, melhorar o desempenho produtivo do rebanho. Segundo Moreira *et al.*, (2018), esse estudo pode nortear à adequação de manejo, tencionando o aumento da produtividade e do bem-estar dos animais.

Esse comportamento ingestivo é embasado em três atividades principais, sendo elas a ruminação, o pastejo ou alimentação e o ócio, em que distintos alimentos são capazes de provocar modificações nessas atividades. De acordo com Santana Junior *et al.*, (2014), o tempo em alimentação é aquele despendido pelo animal no consumo de suplemento, já o tempo de ruminação corresponde aos processos de regurgitação, remastigação, reinsalivação e redeglutição e, por fim, o tempo em ócio é aquele relacionado a outras atividades (descanso, consumo de água, interações, entre outros).

Segundo Santos *et al.*, (2018), em relação ao comportamento ingestivo de caprinos e ovinos, eles apresentam estratégias de pastejo, ruminação e ócio diferenciados, entretanto, as duas espécies intensificam a atividade de pastejo quando estão em conforto ambiental, mesmo que não seja nas mesmas proporções.

Embora este estudo seja de grande relevância para a nutrição animal, os métodos de avaliação acabam sendo demorados, exaustivos e pode impossibilitar a realização de experimentos em larga escala, além de não existir total uniformização entre os métodos utilizados nos estudos.

Diversas são as metodologias empregadas para sua caracterização e determinação, ocorrendo diferenças entre duração de avaliação, intervalo de observações e número de turnos e repetições, o que pode ocasionar informações com baixa acurácia (SANTANA JUNIOR *et al.*, 2014). Em estudos de comportamento ingestivo, pesquisadores como: Barbosa *et al.*, (2016), Leite *et al.*, (2020) e Macedo Junior *et al.*, (2019), utilizaram intervalo de observação a cada cinco minutos e outros como: Oliveira *et al.*, (2016) e Pereira *et al.*, (2019), a cada dez minutos.

Nesse sentido, a utilização da eletrônica na agropecuária vem para resolver essas barreiras, porque tem como objetivo melhorar a mensuração dos indicadores produtivos, comportamentais e fisiológicos em benefício da saúde, produtividade e bem-estar animal. Está baseada na coleta de dados de forma automatizada e em

tempo real, o que gera bancos de dados para serem interpretados e que promova suporte na tomada de decisão (BERCKMANS, 2014).

## 2.4. ELETRÔNICA NA AGROPECUÁRIA

O desenvolvimento e a aplicação de tecnologia no setor agropecuário tornaram-se um dos elementos fundamentais para inserção e manutenção da competitividade comercial no mercado globalizado de países com vocação para o agronegócio. Nesse sentido, o baixo nível de aplicação de tecnologia conduz à baixa eficiência e à baixa produtividade dos processos de produção (SOUSA *et al.*, 2014).

A aplicação de sistemas de automação em áreas agropecuárias surge como conceitos ou práticas que procuram maximizar os seus benefícios, destacando a agricultura de precisão, que é um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variação espacial e temporal da unidade produtiva visando o aumento de retorno econômico, à sustentabilidade e à minimização dos efeitos ao ambiente (SOUSA *et al.*, 2014).

Dentro dessa perspectiva, está a utilização de sensores, que são dispositivos que variam suas propriedades sob a ação de uma grandeza física, fornecendo um sinal que indica essa grandeza. Pode-se considerar também que um sensor é um tradutor de um valor, geralmente não-elétrico, para um valor elétrico, como diferença de potencial ou corrente elétrica, de maneira a viabilizar o registro de grandezas físicas que podem ser amplificadas e modificadas através de dispositivos eletrônicos (SUGAWARA, 2003).

Assim, a eletrônica na agropecuária pode ser dividida em alguns caminhos, dois desses são: a internet das coisas e a pecuária de precisão.

### 2.4.1. Internet das Coisas (IoT)

Avanços tecnológicos em diversas áreas têm permitido que novos sensores e equipamentos cheguem à pecuária com custos menores. Um dos exemplos de evoluções tecnológicas que tem permitido o crescimento da pecuária é o surgimento



do fenômeno mundial denominado “internet das coisas” (Internet of Things – IoT) (RIBAS *et al.*, 2017).

Compreende-se por IoT a maneira com que objetos físicos do cotidiano se interconectam na web. Por meio do avanço tecnológico foi permitido que “as coisas” possam ser identificadas, detectadas e controladas remotamente utilizando sensores e atuadores (FENG; LAURENCE; LIZHE, 2012).

A tecnologia IoT apresenta potencial de expansão no agronegócio brasileiro a partir do aprimoramento da infraestrutura e dos sistemas de suporte à produção. Onde já estão disponíveis no mercado sistemas e equipamentos com essa tecnologia para operação de máquinas agrícolas, controle de pragas, estações meteorológicas e pecuária de precisão, entre outras atividades (NOGUEIRA, 2020).

#### **2.4.2. Pecuária de precisão**

A pecuária de precisão é definida por Borchers e Bewley (2015) como o uso de tecnologias que permitem a medição de indicadores comportamentais, fisiológicos e de produção em animais com o objetivo de melhorar o manejo do rebanho e o desempenho da fazenda.

Para Berckmans (2014), a pecuária de precisão é uma forma de gerenciar uma fazenda através do monitoramento e registro automatizados em tempo real da produção animal. Baseia-se no monitoramento ou observação direta e contínua de animais que permite aos produtores detectar e controlar o estado de saúde e bem-estar de seu rebanho. Assim, um animal com boa saúde e bem-estar fornece uma maior qualidade do produto final.

Enquanto para Hostiou *et al.*, (2017), é o uso coordenado de sensores para medir os parâmetros comportamentais, fisiológicos e de produção em animais, das características do ambiente da fazenda e das tecnologias de informação e comunicação para trocar, armazenar, transformar e restaurar essas informações aos produtores a fim de facilitar a tomada de decisões através das observações.

De maneira geral, a pecuária de precisão contribui para uma discussão objetiva sobre o bem-estar dos animais, fornecendo dados precisos em tempo real. Embora ela não consiga resolver, necessariamente, todas as questões relacionadas

ao bem-estar, permite que as partes interessadas detectem e atuem em períodos em que os animais são mantidos em condições subótimas (BANHAZI *et al.*, 2012).

Inserida na pecuária de precisão estão algumas das técnicas que podem ser utilizadas para a avaliação do comportamento ingestivo de animais.

## 2.5. TÉCNICAS UTILIZADAS NA PECUÁRIA DE PRECISÃO PARA AVALIAÇÃO DE COMPORTAMENTO INGESTIVO

### 2.5.1. Bioacústica

A bioacústica consiste no estudo dos sons emitidos pelos animais, por meio das descrições dos sinais sonoros e seus contextos comportamentais. Outras linhas de pesquisas incorporaram a análise da bioacústica, o que fez surgir variados campos de aplicação (VIELLIARD & SILVA, 2010).

Um dos campos de aplicação da bioacústica é o comportamento ingestivo, usado para melhorar a produção dos animais e manejo sustentável das pastagens. Fatores como a estrutura da espécie forrageira, tempo de pastejo e ambiente térmico podem afetar o comportamento do animal. A mensuração desse comportamento apresenta limitações, entre elas: a necessidade de mais de um avaliador em caso de grande número de animais; existência de áreas extensas; longo período de observação e avaliação noturna (ALVES *et al.*, 2017).

A bioacústica é um método não invasivo, de baixo custo que possibilita a identificação das atividades dos ruminantes de forma contínua, sem afetar o comportamento ingestivo do animal (NELSON *et al.*, 2005). O princípio está no fato das atividades dos animais apresentarem características acústicas, como frequência (Hz), intensidade (dB), duração (s) e intervalos (s), que potencialmente permitem descrevê-las (TRINDADE *et al.*, 2011).

A técnica se baseia na captura dos sons mandibulares amplificados e propagados através dos ossos do crânio, por meio de microfones de contato dispostos sobre a caixa craniana (VOLPI *et al.*, 2018). Em ovinos, a bioacústica ofereceu precisão de 82% para atividades relacionadas ao comportamento ingestivo, além de permitir identificar espécies forrageiras e a altura da pastagem com uma precisão de,

respectivamente, 84% e 85%, de acordo com o processamento de sinal e modelo de reconhecimento utilizado (MILONE *et al.*, 2009; MILONE *et al.*, 2012).

Segundo Trindade *et al.*, (2011), o método acústico foi eficiente para quantificar o tempo diário de pastejo, de ruminação e de outras atividades de bovinos, pois os padrões de registros sonoros são distintos e facilmente discriminados em programas de áudio. As principais desvantagens foram associadas à capacidade das pilhas para manter as gravações contínuas, acima de 24 horas, como também à automatização das análises.

Veit *et al.*, (2018) utilizando a bioacústica como método de avaliação do comportamento em pastejo de novilhas Girolando, fez-se uso de gravadores MP3 para a coleta de dados, sendo analisados pelo software Audacity para a identificação das atividades de pastejo, ruminação e ócio.

### **2.5.2. Sensores de Aceleração**

O bem-estar e a saúde animal pode ser quantificada, de maneira indireta, através da sua movimentação, detectando o seu comportamento. Essa avaliação ocorre com a utilização de acelerômetros, que são acoplados aos animais e transmitem essas informações para um receptor (DIOSDADO *et al.*, 2015).

Os acelerômetros são equipamentos eletrônicos de pequeno porte, portáteis e não invasivos apropriados para calcular a intensidade, duração e frequência de determinada atividade animal.

A utilização de acelerômetro triaxial permite classificar comportamentos biologicamente importantes em animais, tais como: o tempo em que os animais está se alimentado; em qual posição com a cabeça para baixo, em pé, deitado e levantado. Em trabalho realizado por Diosdado *et al.*, (2015), foi utilizado o Geolocalização de cluster Ominsense série 500, que inclui um acelerômetro triaxial incorporado (Xtrinsic MMA8451Q, 3 eixos, 14 bits/ 8 bits com uma sensibilidade entre -8 e +8 g).

Barwick *et al.*, (2018), categorizaram a atividade de ovelhas utilizando um acelerômetro triaxial GCDC X16-Mini que mede a estática e aceleração dinâmica ao longo de três eixos ortogonais (X, Y e Z), podendo determinar movimentos para frente e para trás; para direita e para esquerda; além de para cima e para baixo.

Loss (2018) mensurando níveis de atividade física em equinos utilizou o acelerômetro ActiGraph® Xgt3x-BT, sendo capacitivo e classificado como triaxial, que foram digitalizados a uma taxa de amostragem de 30 Hz e, posteriormente, filtrados para que a frequência ficasse limitada a uma faixa de 0,25 a 2,5 Hz e eliminar artefatos gerados por vibrações de alta frequência.

Wang *et al.*, (2019) ao classificarem o comportamento de vacas, utilizaram um acelerômetro triaxial (ADXL 345), um microprocessador (MSP430F149IMP), com módulo de radiofrequência (CC1101) e dois íons de lítio de 3,67 V conectadas à baterias (18650-2800) como fonte de alimentação.

O acelerômetro ADXL345 possui alta resolução com baixo consumo de energia, seu funcionamento é a partir da tensão de operação de 3,3 a 5 V, protocolo de comunicação I2C, sendo altamente utilizado devido a sua organização funcional em blocos, providenciando um diagrama esquemático final simples, endereçamento e protocolo de transferência de dados totalmente definida via software (SILVA, 2014).

Khanh *et al.*, (2016) utilizaram dados de acelerômetro para classificação comportamental de vacas, permitindo a verificação de quando os animais estavam deitados, em pé ou se alimentando, para isso, utilizaram um sistema que incluía três componentes principais: kit 28rduino uno, sensor ADXL345 e módulo de cartão SD.

Acelerômetros triaxial foram testados no pescoço, perna e orelhas para identificar a melhor posição no corpo de ovelhas que proporcionava maior precisão e sensibilidade do comportamento do movimento em pastos destes animais. Aqueles implantados na perna foram estáveis e forneceram uma indicação clara do componente de caminhada no pastejo e a locomoção. O sucesso da classificação fornece uma prova de que comportamentos individuais de ovinos podem ser classificados a partir de acelerômetros (BARWICK *et al.*, 2018).

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. OBJETIVO GERAL

Desenvolver um protótipo responsável pela aquisição de dados dos parâmetros de comportamento ingestivo de ovelhas.

#### 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o sensor de som KY-038 para discriminação de estado do comportamento ingestivo em ovinos;
- Avaliar o acelerômetro triaxial ADXL345 para discriminação de estado do comportamento ingestivo em ovinos;
- Comparar os dados obtidos pelo protótipo com as metodologias visuais que são atualmente utilizadas para a avaliação de comportamento ingestivo.

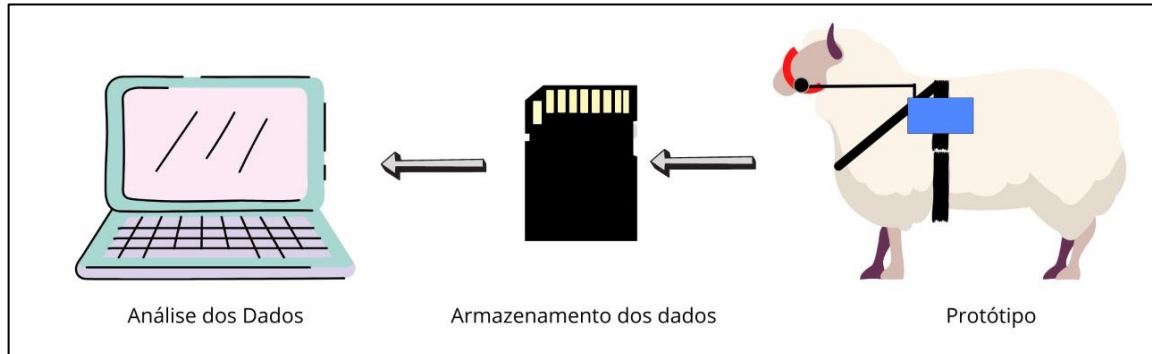
## 4. MATERIAL E MÉTODOS

O protótipo foi desenvolvido no Laboratório de Energia na Agricultura (LENA) da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Campus Juazeiro – BA, onde foi obtida a infraestrutura necessária para a execução do trabalho.

A validação e a análise de desempenho do protótipo foram realizadas no Setor de Produção Animal da UNIVASF, localizado no Campus Ciências Agrárias, Petrolina-PE, entre os meses de julho e setembro de 2021, com o uso dos animais da própria instituição. A utilização dos ovinos foi autorizada pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA) da UNIVASF, sob registo de nº 0005/270121.

A Figura 1 ilustra a visão geral do sistema para monitoramento de comportamento ingestivo nos pequenos ruminantes. Sendo representada pelo protótipo obtendo as informações dos sensores, que armazenaram esses dados que, posteriormente, foram analisados.

**Figura 1** – Diagrama do sistema para monitoramento de comportamento ingestivo.

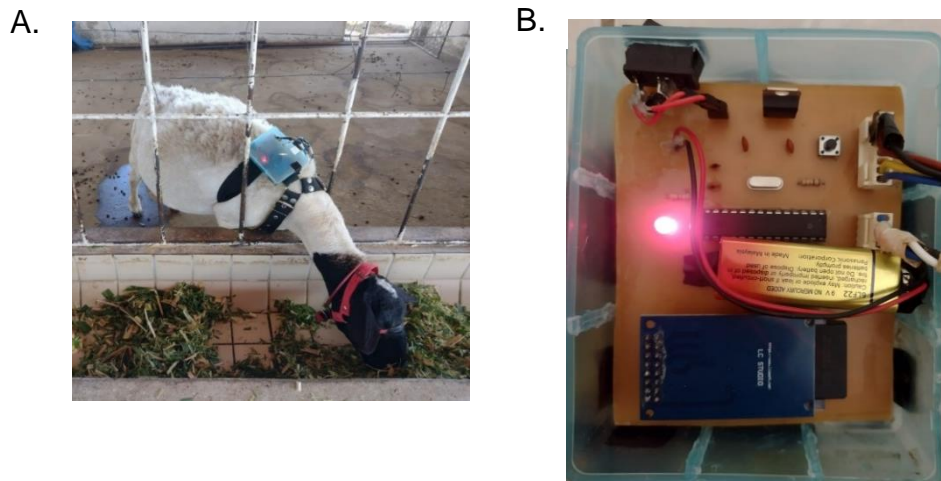


Fonte: Próprio autor.

### 4.1. PROTÓTIPO

A Figura 2<sup>a</sup> ilustra do protótipo desenvolvido sendo testado no animal, em que foi acoplado por meio de peitoral – contendo a caixa de proteção – e os sensores em cabrestos. Já a Figura 2B ilustra a placa do protótipo.

**Figura 2** – (A) Protótipo no animal. (B) Protótipo para avaliação de comportamento ingestivo.



Fonte: Próprio autor.

O protótipo foi constituído por um microcontrolador com as características fundamentais para a concepção do projeto, a saber: memória de programa e dados, conversores analógico/digital (A/D) de 8 bits, temporizadores, e várias linhas de entrada e saída digitais em um único chip. Além disso, o microcontrolador foi conectado a um dispositivo de memória não-volátil (cartão de memória SD), fornecendo a capacidade para armazenamento de amostras dos sinais para avaliação do comportamento ingestivo. Para o funcionamento do protótipo foi confeccionado uma placa de circuito impresso.

A concepção de *hardware* foi baseada em vários dispositivos eletrônicos, com características e funcionalidades específicas. Sendo assim, para melhor entendimento do funcionamento do protótipo, a explicação foi dividida nos tópicos a seguir.

#### 4.1.1. Microcontrolador

Por esse componente são implementadas todas as funcionalidades do protótipo, desde aquisição, manipulação e armazenamento dos dados. O dispositivo eletrônico foi o microcontrolador Atmega328p (Figura 3) da Atmel® (San Jose, California, EUA), responsável por gerenciar todas as instruções, com características essenciais ao desenvolvimento do projeto.

O Atmel de 8 bits AVR é baseado em RISC, o microcontrolador combina 32 kB ISP *flash* de memória de leitura enquanto grava, 1 kB de EEPROM, 2 kB de

SRAM, 23 linhas de I/O de propósito geral, 32 registradores para diversos propósitos, 3 timer/counters flexíveis com comparador de modos, interrupções internas e externas, serial programável USART, 1 interface I<sup>2</sup>C SPI porta serial, conversor A/D de 6-canais e 10-bits (8-canais nos encapsulamentos TQFP e QFN/MLF), temporizador do *watchdog* interno programável com oscilador, e 5 modos de economia de energia selecionáveis por *software*. O dispositivo opera entre 1,8 e 5,5 volts. O dispositivo alcança a taxa de transferência aproximando-se de 1 MIPS por MHz (ATMEL, 2015).

Além disso, esse microcontrolador apresenta características de disponibilidade de ferramentas gratuitas, como plataforma de desenvolvimento, compiladores e simuladores.

**Figura 3** – Microcontrolador Atmega328p.



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/ATmega328>.

Para o funcionamento do microcontrolador foi necessário a utilização de um cristal externo de 16 MHz ligado entre os pinos 9-10 (XTAL1 e XTAL2), dois capacitores (cerâmicos de 22pF), em cada um desses pinos. Sendo que, uma ponta do capacitor era ligada em um pino XTAL e a outra no GND. Esse circuito oscilador tem o intuito de produzir sinais de baixa ou alta frequência, sendo um amplificador de saída com frequência e amplitude definida, garantindo que os circuitos funcionem de maneira totalmente ordenada e sincronizada.

#### **4.1.2. Sensor de som**

A medição da resposta elétrica, em relação aos sons emitidos pelos animais para descrever o contexto comportamental, foi realizado por meio do sensor de som KY-038 (Figura 4). Esses microfones respondem à variação da intensidade



sonora pela vibração de suas membranas internas, transformando-a em um sinal elétrico.

**Figura 4** – Sensor de som KY-038.



Fonte: <https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-som-arduino/sensor-de-som-ky-038-para-arduino-5031.html>.

Esse sensor mensura a intensidade sonora do ambiente ao seu redor, variando o estado de sua saída digital caso detectado um sinal sonoro, possuindo um microfone de condensador elétrico. O KY-038 possui um comparador LM393 e tensão de Operação entre 4-6v DC. Sua faixa de frequência é entre 50Hz e 20kHz, possuindo sensibilidade ajustável via potenciômetro com saída digital e analógica. É um componente de fácil instalação, contendo led indicador para tensão e led indicador para saída digital.

#### 4.1.3. Sensor de aceleração

A medição da aceleração dos ovinos foi obtida utilizando o acelerômetro ADXL345 (Figura 5), um sensor triaxial de pequeno porte, portátil e não invasivo que é apropriado para calcular a intensidade, duração e frequência de determinada atividade animal.

**Figura 5** – Sensor acelerômetro ADXL345.



Fonte: <https://portuguese.alibaba.com/product-detail/gy-291-adxl345-accelerometer-sensor-digital-triaxial-acceleration-of-gravity-sensor-tilt-sensor-module-60325293463.html>.

O acelerômetro ADXL345 possui alta resolução com baixo consumo de energia, seu funcionamento é a partir da tensão de operação de 3,0 a 5 V, protocolo de comunicação I2C, sendo altamente utilizado devido a sua organização funcional em blocos, providenciando um diagrama esquemático final simples, endereçamento e protocolo de transferência de dados totalmente definido via *software*.

Como especificações técnicas do sensor têm-se a interface SPI/I2C, com 3 eixos (x, y e z) e sensibilidade de  $\pm 2$  g/ $\pm 4$  g/ $\pm 8$  g/ $\pm 16$  g. Além disso, seu consumo é de 23uA em utilização e 0.1uA em stand-by, tendo tensão de alimentação entre 3-5V, com tamanho de 20mm x 10mm, chip ADXL345 e modelo GY-291.

#### 4.1.4. Armazenamento de dados

Os dados foram armazenados por meio de uma memória permanente, utilizando cartão de memória SD/MMC, como tipo de memória não-volátil. O cartão de memória foi acoplado em módulo de cartão SD (Figura 6).

**Figura 6** – Módulo Cartão SD Card.



Fonte: <https://www.baudaeletronica.com.br/modulo-sd-card.html>.

Esse cartão foi implementado para ser operado no modo SPI (*Serial Peripheral Interface*), sendo o mais comum, permitindo a transferência dos dados em duas linhas de comunicação, utilizando uma linha de controle e uma linha de relógio.

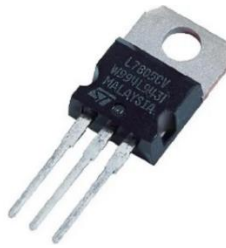
#### 4.1.5. Alimentação

Esse módulo foi responsável por ajustar a tensão proveniente da bateria que alimenta o sistema e distribui para todo o circuito do protótipo. Foi utilizada uma bateria elétrica alcalina com 9,0 V de tensão, capacidade nominal de 250 mAh e autonomia de 3 h e 30 min.

O circuito de alimentação teve como finalidade a conversão da tensão da bateria de 9,0 V para 5,0 V, por ser a tensão nominal principal do circuito integrado. Essa arquitetura determina um nível de tensão de 0,0 V para nível lógico baixo (bit da porta I/O igual a 0) e 5,0 V para nível lógico alto (bit da porta I/O igual a 1).

O componente eletrônico responsável por gerar a queda de tensão foi o regulador de tensão LM7805 (Figura 7). Foram adicionados capacitores (100 nF) em paralelo com o regulador de tensão, que servem para controlar o fluxo e a quantidade de tensão que atravessa esse dispositivo.

**Figura 7** – Regulador de tensão LM7805.



Fonte: <https://www.filipeflop.com/produto/regulador-de-tensao-7805-5v/>.

#### 4.2. FIRMWARE DO PROTÓTIPO

O *firmware* do protótipo constituiu o segundo componente principal, depois do próprio *hardware*, sendo sua implementação concebida por meio das funcionalidades desejáveis do sistema. Portanto, para o pleno funcionamento e gerenciamento das tarefas executadas pelo protótipo foi necessário a integração entre ambos.

As instruções que configuram o *hardware* são habilitadas pelo *firmware* por meio dos periféricos, que foram de entrada e saída do microcontrolador, configurando os temporizadores, interrupções, periféricos de comunicação e conversores A/D.

O *firmware* foi elaborado no *software* Arduino® (San Jose, California, EUA), em que o início no protótipo se dava ao pressionar a chave liga/desliga do sistema,

no qual acendia um LED indicador do funcionamento, além de permitir a iniciação e registro das informações dos sensores de som e aceleração. O sensor de som captava a intensidade sonora ao longo do tempo e o acelerômetro os valores dos eixos X, Y e Z.

Para o armazenamento dos dados foi utilizado a biblioteca do próprio *software* para implementação do cartão de memória SD/MMC. Inicialmente, tal rotina inicializava o *hardware* do cartão de memória. Após o processo de reconhecimento do cartão de memória, era criado um arquivo de texto com o nome definido no *firmware*. Quando o arquivo era criado, estava apto para a escrita dos dados provenientes dos sensores.

Foi criado ainda um arquivo de texto para iniciar a coleta, armazenamento dos dados, entrar em modo de aquisição e depois o registro. Os dados de cada variável eram gravados no mesmo arquivo.

Para o funcionamento do ADXL345 foi utilizado a biblioteca da Adafruit Industries® (Nova York, EUA) destinada ao sensor, que faz a devida calibração deixando-o pronto para o uso. Já para o funcionamento do KY-038 a programação foi elaborada.

O armazenamento era finalizado quando a chave liga/desliga era pressionada, sendo que os arquivos de texto abertos para escrita eram fechados e já ficavam salvos.

#### 4.3. VALIDAÇÃO E DESEMPENHO DO PROTÓTIPO

Os ensaios tiveram o intuito de avaliar o protótipo elaborado, sendo realizado em aprisco com baia de dimensões 3,6 x 3,6 m, área de sol de 3,6 x 5,8 m e cobertura com telha de barro. Foi utilizado ovinos mestiços, principalmente, da raça Santa Inês e Dorper, em diferentes idades e pesos, além de condições normais de sanidade.

A alimentação dos animais ocorria duas vezes ao dia, às 08 e 13h, sendo fornecido volumoso (capim elefante passado na forrageira) misturado com concentrado (fonte energética rica em amido contendo milho e outros cereais), totalizando 4,0 kg de alimento por refeição.

O protótipo foi acoplado por meio de um peitoral contendo uma caixa de proteção que ficava no animal, sendo que os sensores eram dispostos em cabrestos e interligados por meio de fios para a caixa contendo a placa de circuito impresso com os devidos componentes (Figura 8). O registro dos dados foi definido para ocorrer a cada 1 segundo, captando os valores da aceleração nos eixos X, Y e Z do acelerômetro e da resposta elétrica do sensor de som.

**Figura 8** – Protótipo testado no animal e direção dos eixos X, Y e Z do ADXL345.

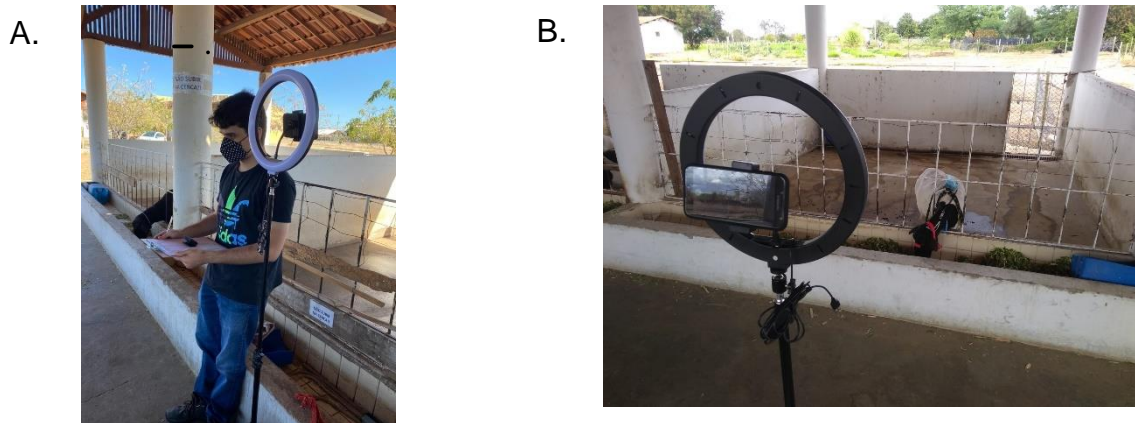


Fonte: Próprio autor.

Simultaneamente à obtenção dos dados pelo equipamento, os animais foram avaliados por um observador (Figura 9<sup>a</sup>), devidamente treinado, com a finalidade de aferir o comportamento ingestivo conjuntamente com o dispositivo desenvolvido, com o auxílio de cronômetro para haver sincronia na coleta dos dados – no momento de acionar o protótipo, era acionado o cronômetro e a cada intervalo de observação as atividades que o animal desempenhava era anotada.

Além disso, durante todo intervalo de avaliação os animais foram filmados para observar a real atividade em tempo integral durante os testes (Figura 9B). O equipamento para filmagem utilizado foi um Samsung Galaxy J7 Pro Android com resolução de 1920x1080 pixels, com memória interna de 64 GB e câmera de 13 megapixels.

**Figura 9** – (A) Observador avaliando o comportamento ingestivo. (B) Filmagem da atividade dos animais.



Fonte: Próprio autor.

O protótipo foi testado em seis ovinos durante aproximadamente duas horas, sendo repetido três vezes no mesmo animal em diferentes dias. No mesmo período de teste a atividade dos animais foi devidamente marcada em planilha a cada 01 minuto pelo observador. A coleta dos dados ocorria a partir de 09h da manhã, pois nesse intervalo era hábito dos animais desempenhar todas as atividades, sendo elas alimentação, ruminação e ócio.

As variáveis utilizadas para avaliar o comportamento ingestivo dos animais foram tempo em ruminação (TP), tempo em alimentação (TA) e tempo em ócio (TO). O tempo de ruminação levou em consideração os processos de regurgitação, remastigação, reinsalivação e redeglutição. O tempo de alimentação no cocho foi o tempo despendido pelo animal no consumo da ração que ficava disponível no cocho. Enquanto o tempo em ócio levou em consideração outras atividades (descanso, consumo de água, interações, entre outros), foram as atividades com exceção das citadas anteriormente (SANTANA JUNIOR *et al.*, 2014).

#### 4.4. ANÁLISE DOS DADOS

Os dados adquiridos pelo protótipo foram armazenados em cartão de memória no formato de arquivo de texto ASCII para serem manipulados em qualquer planilha eletrônica. Posteriormente, foram avaliados quanto à necessidade de

processamento, pois o volume de dados foi grande em decorrência da alta taxa de amostragem.

Para o sensor de som, foram calculados os valores médios, desvio padrão, mínimo e máximo para cada atividade. Já para o acelerômetro, foram calculadas as características em relação a cada atividade, conforme Alvarenga *et al.*, (2020), sendo elas a média, o desvio padrão, mínimo e máximo dos valores dos eixos X, Y e Z, área de magnitude do sinal (SMA), magnitude do vetor do sinal (SVM), variação do movimento, energia, entropia, *pitch*, *roll* e inclinação, em que as equações se encontram na Tabela 1.

**Tabela 1-** Equações das análises área de magnitude do sinal (SMA), magnitude do vetor do sinal (SVM), variação do movimento, energia, entropia, *pitch*, *roll* e inclinação.

| Análise estatística     | Equação   |
|-------------------------|---|
| SMA                     | $ X_i  +  Y_i  +  Z_i $   |
| SVM                     | $\sqrt{X_i^2 + Y_i^2 + Z_i^2}$  |
| Variação do movimento   | $ X_{i+1} - X_i  +  Y_{i+1} - Y_i  +  Z_{i+1} - Z_i $                     |
| Energia                 | $(X_i^2 + Y_i^2 + Z_i^2)$   |
| Entropia                | $(1 + (X_i + Y_i + Z_i))^2 \times \ln(1 + (X_i + Y_i + Z_i)^2)$           |
| <i>Pitch</i><br>(graus) | $\tan^{-1} \left( -X_i / (\sqrt{Y_i^2 + Z_i^2}) \right) \times 180 / \pi$ |
| <i>Roll</i><br>(graus)  | $\text{atan2}(Y_i, Z_i) \times 180 / \pi$                                 |
| Inclinação (graus)      | $\tan^{-1} \left( (\sqrt{X_i^2 + Z_i^2}) / Y_i \right) \times 180 / \pi$  |

Legenda: SMA = área de magnitude do sinal (distingue entre os períodos de atividade e repouso); SVM = magnitude do vetor de sinal (indica o grau de intensidade do movimento); *i* o índice incrementado em uma unidade a cada termo subsequente; e X, Y e Z os valores obtidos pelo acelerômetro triaxial ADXL345.

Esses resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com aplicação do teste *t* ( $p < 0,05$ ), no qual foram testados efeitos isolados nas variáveis tempo em alimentação, tempo em ruminção e tempo em ócio. Na presença de significância, as médias foram comparadas com o teste de Scott-Knott utilizando o *software* SISVAR versão 5.8 (FERREIRA, 2011).

Também foram realizados testes de regressão ( $p < 0,05$ ) e geração dos resíduos entre as informações obtidas pelo equipamento em relação às informações observadas pelo avaliador nos intervalos de 1, 5, 10, 15 e 20 min. Além disso, foi calculado o Erro Médio Percentual (MAPE), a Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático (RMSE) e o Erro Absoluto Médio (EAM) (Tabela 2) entre os dados obtidos pelo protótipo e os observados nos diferentes intervalos e atividades do animal.

**Tabela 2** - Equações das análises Erro Médio Percentual (MAPE), Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático (RMSE) e Erro Absoluto Médio (EAM).

| Análise estatística | Equação   |
|---------------------|---|
| MAPE                | $\frac{\left( \sum_{i=1}^N \left  \frac{(p_i - o_i)}{p_i} \right  \right)}{N} \times 100$ |
| RMSE                | $\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \left  \frac{(p_i - o_i)}{p_i} \right ^2}{N}}$                  |
| EAM                 | $\frac{\sum_{i=1}^N p_i - o_i}{N}$  |

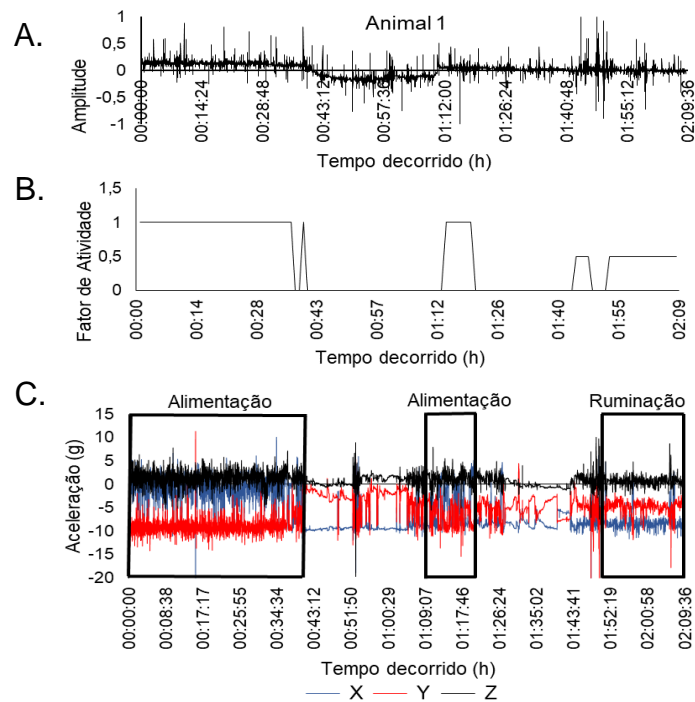
Legenda:  $N$  o número de comparações realizadas;  $p_i$  a resposta do equipamento;  $o_i$  a resposta observada pelo avaliador;  $i$  o índice incrementado em uma unidade a cada termo subsequente; MAPE = Erro Médio Percentual; RMSE = Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático; e EAM = Erro Absoluto Médio.



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

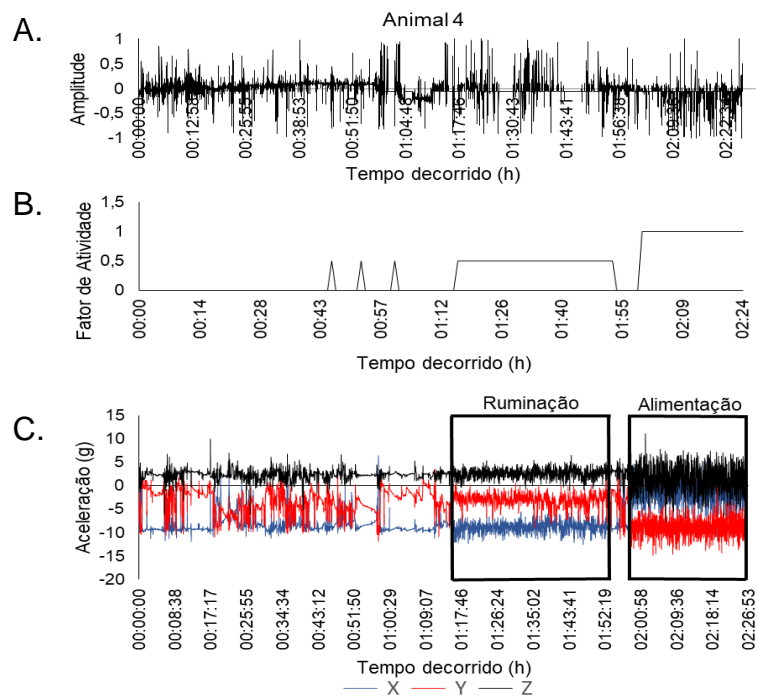
As Figuras 10, 11 e 12 ilustram os gráficos obtidos pelo sensor de som, observação do avaliador e acelerômetro, em uma repetição de três diferentes animais dos seis em que o protótipo foi testado, com o intuito de exemplificar o comportamento sem necessidade de inserir os 18 gráficos gerados. Os gráficos observados pelo avaliador receberam fatores de atividade de 1,0, 0,5 e 0,0 para alimentação, ruminação e ócio, respectivamente, com o intuito de facilitar a visualização entre os gráficos resultantes das respostas dos sensores.

**Figura 10** - Gráficos do animal 1 gerados pelo protótipo por meio do sensor de som (A), pela observação do avaliador (B) e pelo acelerômetro (C).



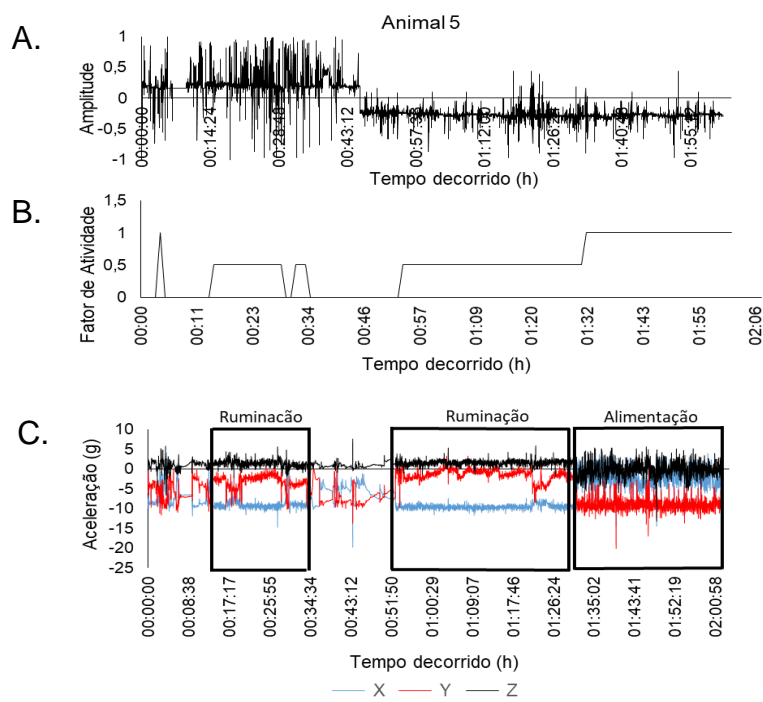
Fonte: Próprio autor.

**Figura 11** - Gráficos do animal 4 gerados pelo protótipo por meio do sensor de som (A), pela observação do avaliador (B) e pelo acelerômetro (C).



Fonte: Próprio autor.

**Figura 12** - Gráficos do animal 5 gerados pelo protótipo por meio do sensor de som (A), pela observação do avaliador (B) e pelo acelerômetro (C).



Fonte: Próprio autor.

Para a resposta do protótipo em relação ao sensor de som KY-038, não foi identificado comportamento semelhante com as respostas observadas pelo avaliador, isto mostra que o resultado da resposta elétrica do sensor ao longo do tempo, não foi condizente com as atividades que os animais estavam desempenhando durante os tempos de avaliação. Algumas das interferências ocorridas podem estar relacionadas ao ambiente de estudo, no aprisco eram gerados ruídos em virtude dos outros animais e pela presença de ventos, causando modificação nos resultados.

Nesse sentido, não houve diferenças significativas entre os valores médios, desvio padrão, mínimos e máximos pela resposta do sensor de som para as atividades de alimentação, ruminação e ócio (Tabela 3).

**Tabela 3** - Média, desvio padrão, mínimo e máximo da resposta do sensor KY-038 para atividades de alimentação, ruminação e ócio.

| Análises estatísticas | Atividade animal    |           |        | C.V. (%) |
|-----------------------|---------------------|-----------|--------|----------|
|                       | Alimentação         | Ruminação | Ócio   |          |
| <b>Média</b>          | 0,101 <sup>NS</sup> | 0,049     | 0,040  | 175,62   |
| <b>Desvio padrão</b>  | 0,152 <sup>NS</sup> | 0,059     | 0,113  | 52,74    |
| <b>Mínimo</b>         | -0741 <sup>NS</sup> | -0,449    | -0,764 | -52,37   |
| <b>Máximo</b>         | 0,961 <sup>NS</sup> | 0,631     | 0,597  | 32,65    |

Observação: NS= não significativo de acordo com o teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ); C.V.= coeficiente de variação.

Vale destacar que de acordo com Volpi *et al.*, (2018), em ambientes externos com condições adversas, a captura e a qualidade dos registros sonoros podem ser comprometidas, acarretando a limitação da sua ampla utilização em experimentos em campo. Conforme Campos *et al.*, (2018), pelo método acústico no reconhecimento de comportamento ingestivo em cabras, não foi possível detectar eventos de ruminação por sofrer influência de ruídos externos.

Os estudos com a bioacústica para avaliação de comportamento ingestivo ocorrem, em sua grande maioria, com gravadores de som, que contém a opção de regular a taxa de amostragem e a resolução. Nesse sentido, apenas a resposta elétrica do sensor de som KY-038 não foi suficiente para obter essas informações com precisão. Além disso, por meio do gráfico gerado com os dados do sensor de som, não foi possível determinar o tempo em cada atividade, o que impossibilitou a realização do teste de regressão e as outras análises estatísticas. Portanto, o sensor

de som KY-038 não demonstrou ser sensível para a captação das informações de comportamento ingestivo para ovinos.

Por outro lado, o sensor de aceleração ADXL345 demonstrou-se satisfatório para avaliar o comportamento ingestivo de ovinos. Por meio dos gráficos gerados foi possível diferenciar as atividades de alimentação, ruminação e ócio

Por meio das Figuras 10, 11 e 12, foi possível verificar a diferenciação de cada atividade a partir do acelerômetro ADXL345. Para alimentação, o eixo X fica com valores superiores ao eixo Y, fato que não ocorre nas outras atividades. Além disso, para essa atividade os gráficos ficam mais rebuscados em virtude da elevada movimentação do animal ao revirar o alimento, devido às características naturais da sua seleção por esses pequenos ruminantes, ocasionando em maiores picos e frequência em relação às demais atividades.

De acordo com Alvarenga *et al.*, (2016), os sinais do acelerômetro triaxial, para o comportamento de alimentação, são compostos de uma mistura de movimentos para cima, para baixo e para os lados, evidenciando uma elevada movimentação e, conseqüentemente, gráficos com maiores picos e frequências nos três eixos.

Para atividade de ruminação, os valores apresentaram elevada frequência nos três eixos, entretanto, o eixo X manifesta valores inferiores ao eixo Y. Além disso, esses valores não são tão elevados quando comparado à atividade de alimentação.

Segundo Giovanetti *et al.*, (2017), na ruminação os movimentos da cabeça e mandíbula são mais regulares relacionadas à regurgitação, mastigação e deglutição do bolo quando se compara com a atividade de alimentação. Shen *et al.*, (2020) verificaram que quando o animal estava ruminando, o sinal de aceleração mostrou elevada amplitude e estável flutuação.

Vale ressaltar que o gráfico do animal 5 (Figura 12), para a ruminação, foi mais sutil que os outros em virtude da direção que ele ruminava, sendo realizada no sentido anti-horário e influenciando menos na captação da informação, pois o sensor estava acoplado no lado esquerdo do cabresto.

Já o tempo do animal em ócio foi caracterizado pela diferença do tempo total pela soma do tempo de alimentação e ruminação. Diversas atividades são consideradas como ócio do animal, estando ele bebendo água, deitado ou agitado, por esse motivo os gráficos dessa ação são desuniformes. De acordo com Giovanetti *et al.*, (2017), o ócio é representado quando a ovelha está deitada, em pé, se

movimentando ou com ausência da atividade da mandíbula, o que ocasionou, na maioria das vezes, valores mais baixos em todos os eixos.

Observou-se que em momentos de agitação os gráficos em ócio se assemelham com a atividade de alimentação, assim diferenciam-se apenas pelos valores inferiores do eixo X em relação ao Y. Ao avaliar acelerômetro em vacas, durante o ócio, Shen *et al.*, (2020) observaram que o sinal do sensor era irregular, apresentando grandes e pequenas flutuações.

As Tabelas 4, 5 e 6 ilustram as características do acelerômetro em relação a cada atividade do animal no que se refere à média, desvio padrão, valores máximos e mínimos dos eixos X, Y e Z, área de magnitude do sinal (SMA), magnitude do vetor do sinal (SVM), variação do movimento, energia, entropia, *pitch*, *roll* e inclinação.

**Tabela 4** – Valores médios e desvio padrão dos eixos X, Y e Z do ADXL345 em relação as atividades de alimentação, ruminação e ócio dos ovinos.

| Análises estatísticas         | Atividade animal |           |         | C.V. (%) |
|-------------------------------|------------------|-----------|---------|----------|
|                               | Alimentação      | Ruminação | Ócio    |          |
| <b>Média X</b><br>(g)         | -2,73 a          | -8,91 c   | -8,03 b | -12,51   |
| <b>Média Y</b><br>(g)         | -8,36 c          | -2,55 a   | -3,63 b | -22,63   |
| <b>Média Z</b><br>(g)         | 1,26 b           | 2,00 a    | 1,84 a  | 46,19    |
| <b>Desvio padrão X</b><br>(g) | 2,78 a           | 1,06 c    | 1,98 b  | 26,34    |
| <b>Desvio Padrão Y</b><br>(g) | 2,04 b           | 1,75 b    | 2,43 a  | 26,69    |
| <b>Desvio Padrão Z</b><br>(g) | 1,83 a           | 0,82 c    | 1,18 b  | 27,81    |

Observação: Médias seguidas da mesma letra não diferem de acordo com o teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ); as letras referem-se à comparação entre as atividades do animal; C.V.= coeficiente de variação.

Em relação aos valores médios e desvio padrão dos eixos X, Y e Z, todos apresentaram diferenças estatísticas entre as três atividades do animal. O eixo X apresentou as maiores médias e desvio padrão durante a alimentação em virtude da maior movimentação da cabeça do animal para frente e para trás na procura e seleção dos alimentos, o que resultou no maior valor de intensidade e na maior variação dos dados. Segundo Giovanetti *et al.*, (2017), em ovelhas o movimento da cabeça é essencialmente para trás e para a frente no eixo longitudinal do corpo. Já durante a ruminação, foi apresentado os menores valores, pois o animal desempenha essa atividade apenas quando está em repouso, o que acarreta menor intensidade e

variação dos dados. E para o ócio, foi apresentado valores intermediários por levar em consideração momentos de repouso e agitação.

Para o eixo Y, a média durante a alimentação foi a menor em decorrência da posição da cabeça do animal, que ficava abaixada durante a suplementação alimentar, conforme Guo *et al.*, (2018), as ovelhas ao realizarem essa atividade mantêm a cabeça baixa com a boca mordendo, recolhendo e engolindo enquanto estão estáticas ou se movendo lentamente. Já o ócio apresentou valores intermediários por levar em consideração momentos em que baixava e levantava a cabeça, fato que ocasionou no maior desvio padrão para esse eixo.

O eixo Z durante a alimentação apresentou a menor média mesmo tendo uma elevada intensidade na movimentação da cabeça das ovelhas para os lados, esse fato ocorreu por ser um eixo que obtém valores positivos e negativos, ocasionando em uma média menor quando comparado com a ruminação e o ócio, que não apresentaram diferenças na média entre si. Essa elevada variação que ocasionou uma média baixa nesse eixo pode ser ilustrada com o desvio padrão Z, que apresentou o maior valor durante a alimentação.

**Tabela 5** – Valores mínimos e máximos dos eixos X, Y e Z do ADXL345 em relação as atividades de alimentação, ruminação e ócio dos ovinos.

| Análises estatísticas  | Atividade animal     |           |          | C.V. (%) |
|------------------------|----------------------|-----------|----------|----------|
|                        | Alimentação          | Ruminação | Ócio     |          |
| <b>Mínimo X</b><br>(g) | -14,17 <sup>NS</sup> | -13,35    | -13,21   | -23,31   |
| <b>Mínimo Y</b><br>(g) | -15,90 c             | -11,27 a  | -13,20 b | -20,24   |
| <b>Mínimo Z</b><br>(g) | -7,01 b              | -3,71 a   | -5,22 a  | -67,30   |
| <b>Máximo X</b><br>(g) | 6,16 a               | 4,45 a    | -1,40 b  | 130,57   |
| <b>Máximo Y</b><br>(g) | 5,64 <sup>NS</sup>   | 2,73      | 5,65     | 94,71    |
| <b>Máximo Z</b><br>(g) | 9,84 a               | 10,27 a   | 6,25 b   | 47,12    |

Observação: Médias seguidas da mesma letra não diferem de acordo com o teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ); as letras referem-se à comparação entre as atividades do animal; NS= não significativo; C.V.= coeficiente de variação.

As análises dos valores mínimo X e máximo Y não apresentaram diferenças estatísticas em relação as diferentes atividades animais. Para o valor mínimo X a não diferença estatística pode ter ocorrido por levar em consideração a maior movimentação da cabeça do ovino para trás, sendo que não é hábito desses

animais essa movimentação brusca durante suas atividades, acarretando valores mínimos similares entre elas.

Para o valor máximo Y, eixo que leva em consideração a maior movimentação para cima ou para baixo, a não diferença estatística pode estar associada aos momentos em que os animais se assustam ou querem observar o ambiente, pois sua principal reação é levantar a cabeça rapidamente para ficar em alerta, fato que pode ocorrer durante as três atividades e apresentar valores semelhantes. Giovanetti *et al.*, (2017), observaram que os movimentos verticais foram realizados pelo animal em todos os comportamentos de pastejo, ruminação e repouso.

Por outro lado, os valores mínimos de Y e Z e os máximos de X e Z apresentaram diferenças significativas entre as três atividades. Vale salientar que os mínimos Y e Z obtiveram os menores valores durante a alimentação, pois é durante essa atividade que ocorre a maior movimentação do animal para baixo e para os lados na procura e seleção do alimento. Segundo Tian *et al.*, (2021), quando o animal está ruminando ou em ócio as flutuações dos dados são mais moderadas. Já os máximos de X e Z apresentaram os menores valores durante o ócio por haver uma menor movimentação da cabeça do animal nessa atividade.

**Tabela 6** – Valores do SMA, SVM, variação do movimento, energia, entropia, *pitch*, *roll* e inclinação por meio do ADXL345 em relação as atividades de alimentação, ruminação e ócio dos ovinos.

| Análises estatísticas               | Atividade animal       |           |          | C.V. (%) |
|-------------------------------------|------------------------|-----------|----------|----------|
|                                     | Alimentação            | Ruminação | Ócio     |          |
| <b>SMA</b><br>(g)                   | 13,44 <sup>NS</sup>    | 13,72     | 13,92    | 4,88     |
| <b>SVM</b><br>(g)                   | 9,74 b                 | 9,76 b    | 9,80 a   | 0,67     |
| <b>VARIAÇÃO DO MOVIMENTO</b><br>(g) | 4,69 a                 | 1,92 b    | 1,55 b   | 34,39    |
| <b>ENERGIA</b>                      | 9.839,44 <sup>NS</sup> | 9.492,62  | 9.626,43 | 11,85    |
| <b>ENTROPIA</b>                     | 518,07 <sup>NS</sup>   | 439,62    | 488,63   | 27,65    |
| <b>PITCH</b><br>(graus)             | 132,43 a               | 51,51 b   | 13,66 b  | 138,78   |
| <b>ROLL</b><br>(graus)              | 84,65 b                | 117,20 a  | 114,20 b | 30,86    |
| <b>INCLINAÇÃO</b><br>(graus)        | -2,06 <sup>NS</sup>    | 0,36      | 1,22     | -379,03  |

Observação: Médias seguidas da mesma letra não diferem de acordo com o teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ); as letras referem-se à comparação entre as atividades do animal; NS= não significativo; C.V.= coeficiente de variação.

As análises dos valores de SMA, energia, entropia e inclinação não apresentaram diferenças estatísticas em relação as diferentes atividades dos animais. O SMA é a área de magnitude do sinal dos três eixos, que de acordo com Jalal *et al.*, (2020), essa informação permite distinguir entre períodos de aceleração e não aceleração (períodos estáticos), evidenciando que esses períodos são equivalentes entre as três atividades avaliadas.

De maneira análoga ocorre com a energia e a entropia, que segundo Zhang *et al.*, (2015), em relação aos dados originários do acelerômetro, a energia é uma medida da energia total em todas as frequências e a entropia é a captura da pureza nos dados medidos do acelerador. Sendo que no presente estudo, ocorreu a uniformização da energia total e da pureza dos dados em relação as atividades de alimentação, ruminação e ócio.

Conforme Godfrey, Culhane e Lyons (2007), os valores da inclinação em graus por meio de acelerômetros estabelecem a postura do indivíduo, sendo que para os dados obtidos a postura dos animais não diferiram estatisticamente entre as diferentes atividades.

Em contrapartida, SVM, Variação do Movimento, *Pitch* e *Roll* apresentaram diferenças estatísticas entre as atividades de alimentação, ruminação e ócio. Robert *et al.*, (2009) observaram a magnitude do vetor do sinal (SVM) como uma ferramenta útil para distinguir a ação de caminhar quando o animal está em pé, corroborando com as respostas obtidas no nosso estudo. Vale salientar que os animais estavam confinados, portanto, não precisavam caminhar a procura de alimento e durante a ruminação ficavam em repouso, que de acordo com Ikurior *et al.*, (2021), é uma atividade de descanso, apesar dos pequenos movimentos da cabeça. Sendo assim, os ovinos tinham a ação de caminhar apenas quando em ócio, que apresentou a maior média estatisticamente para o SVM.

A Variação do Movimento apresentou a maior média durante a alimentação por ser uma atividade que faz o animal ter maior movimentação da cabeça na seleção do alimento. De acordo com Alvarenga *et al.*, (2020), essa variável calcula a quantidade total de variação dentro do sinal por meio da medida cumulativa de amplitude, frequência e duração, fornecendo informações sobre a quantidade total de movimento. Em estudo realizado por Simanungkalit *et al.*, (2021), essa variação do movimento também foi maior durante o comportamento alimentar.



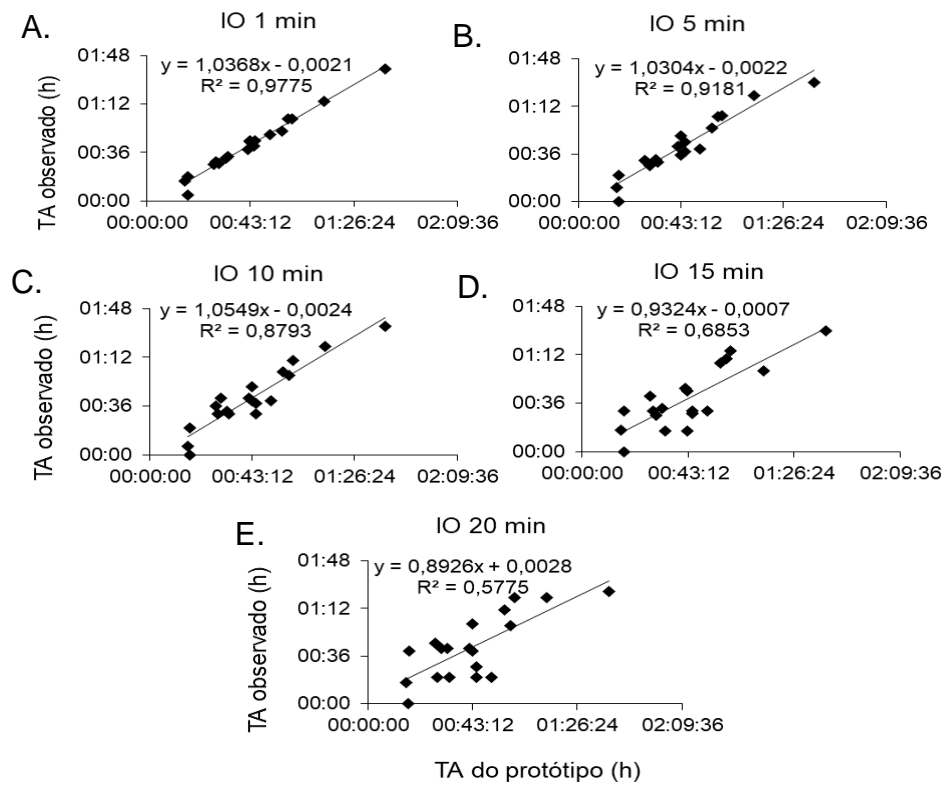
De maneira semelhante, o *Pitch* apresentou maior grau durante a alimentação. Segundo Suparwito *et al.*, (2020), essa variável está relacionada com a inclinação dos animais associadas aos movimentos da cabeça, sendo durante a alimentação o momento em que os animais estiveram com a cabeça baixa selecionando o alimento e, conseqüentemente, obteve maior média para o *Pitch*.

Conforme Giovanetti *et al.*, (2017), os maiores valores das variáveis do acelerômetro são obtidos durante a alimentação, pois nessa atividade todos os eixos estão envolvidos na detecção dos diferentes movimentos.

Já o *Roll*, que conforme Suparwito *et al.*, (2020), representa o movimento lateral ou ângulo de rolamento, apresentou os maiores valores durante a ruminação, pois durante essa atividade o animal movimenta a mandíbula para os lados ao realizar a atividade de remastigação, ocasionando em maior ângulo de rolamento da cabeça. Segundo Giovanetti *et al.*, (2017), essa atividade é determinada por movimentos horizontais e verticais da cabeça e movimentos lateral e vertical da mandíbula.

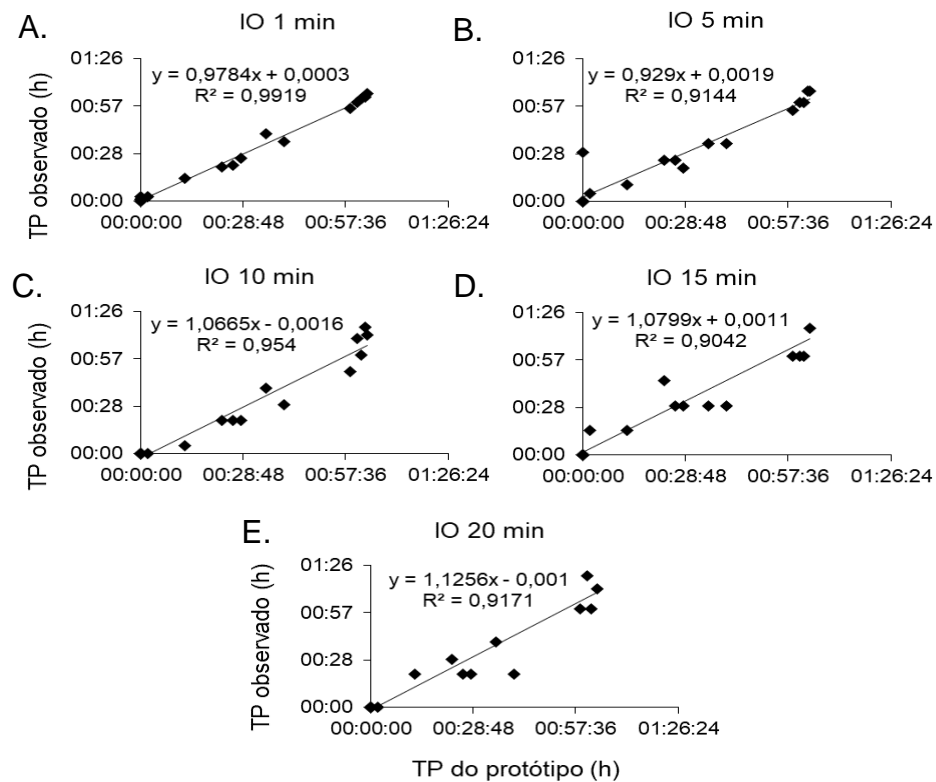
Além disso, foram realizados testes de regressão ( $p < 0,05$ ) entre os valores obtidos pelo equipamento e os observados em intervalos de 1, 5, 10, 15 e 20 min para os tempos de alimentação, de ruminação e de ócio, sendo representados nas Figuras 13, 14 e 15, respectivamente.

**Figura 13** - Regressão linear do tempo de alimentação (TA) obtido pelo protótipo em relação ao observado nos intervalos de 1 min (A), 5 min (B), 10 min (C), 15 min (D) e 20 min (E).



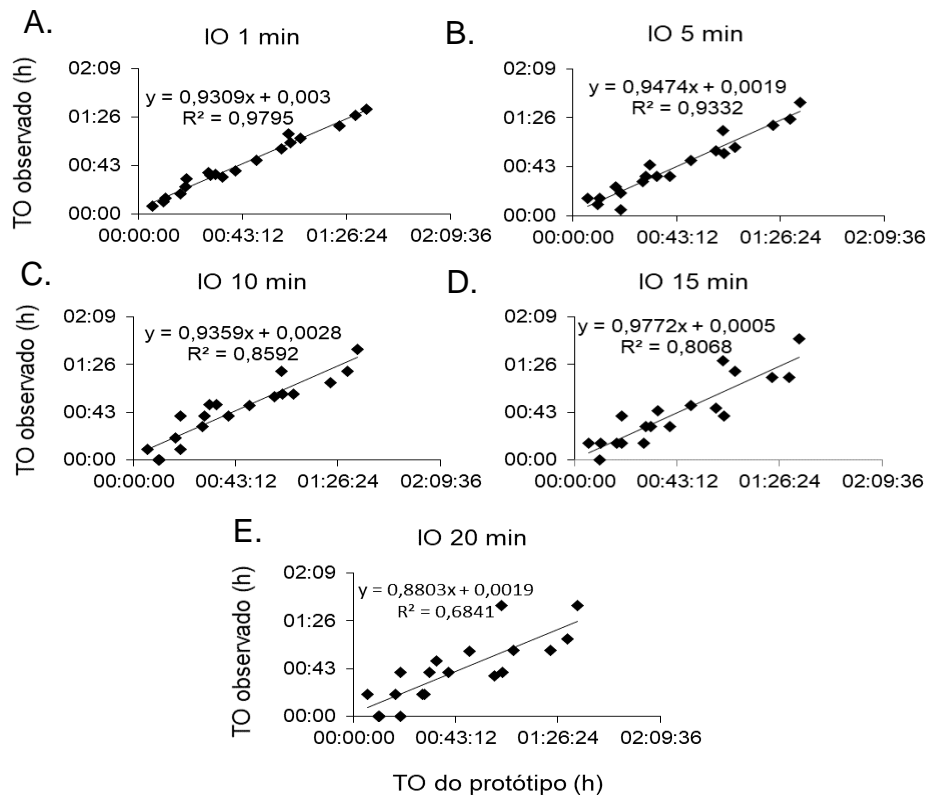
Fonte: Próprio autor.

**Figura 14** - Regressão linear do tempo de ruminação (TP) obtido pelo protótipo em relação ao observado nos intervalos de 1 min (A), 5 min (B), 10 min (C), 15 min (D) e 20 min (E).



Fonte: Próprio autor.

**Figura 15** - Regressão linear do tempo de ócio (TO) obtido pelo protótipo em relação ao observado nos intervalos de 1 min (A), 5 min (B), 10 min (C), 15 min (D) e 20 min (E).



Fonte: Próprio autor.

As regressões lineares geradas entre o tempo registrado pelo protótipo em comparação com o tempo observado de 1 min resultaram em altos coeficientes de determinação, com valores de 97,75, 99,19 e 97,95% para o tempo de alimentação, ruminação e ócio, respectivamente.

Giovanetti *et al.*, (2017), ao usarem acelerômetro triaxial para classificação automática de ovelhas leiteiras, alcançaram precisões em valores de 95, 94 e 89% para alimentação, ócio e ruminação, respectivamente. Já Watanabe *et al.*, (2008) utilizando esses sensores em gados, relataram valores de 98% para alimentação, 92,8 para ócio e 92,3% para ruminação.

Alvarenga *et al.*, (2020), ao avaliarem a utilização de acelerômetro triaxial no comportamento de mordida e mastigação em ovelhas, observaram uma precisão

de 98,1% do sensor em detectar essas atividades, já Giovanetti *et al.*, (2020) obtiveram precisão entre 86 e 87%.

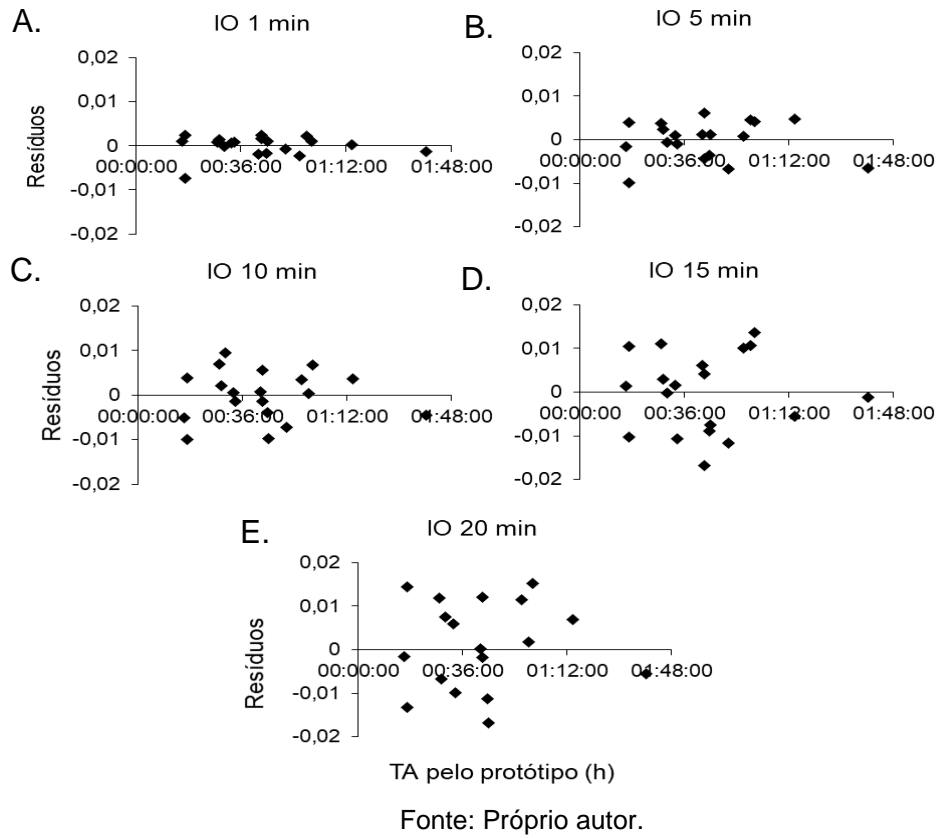
Shen *et al.*, (2020), conseguiram precisão de 96,1 e 97,5% para alimentação e ruminação, respectivamente. Logo, por meio dos resultados alcançados no trabalho e levando em consideração trabalhos semelhantes, é possível verificar a alta precisão dos acelerômetros para avaliação de comportamento ingestivo em ruminantes.

De maneira geral, quanto maior o intervalo de observação, menor o coeficiente de determinação da regressão linear por apresentar maior erro, além disso, eles ficam mais dispersos nos gráficos. Para a atividade de alimentação essa precisão ficou em 91,81, 87,93, 68,63 e 57,75% para os intervalos de observação de 5, 10, 15 e 20 min, respectivamente. Para o ócio essa precisão ficou em 93,22, 85,92, 80,66 e 68,41% para os intervalos de observação de 5, 10, 15 e 20 min, respectivamente.

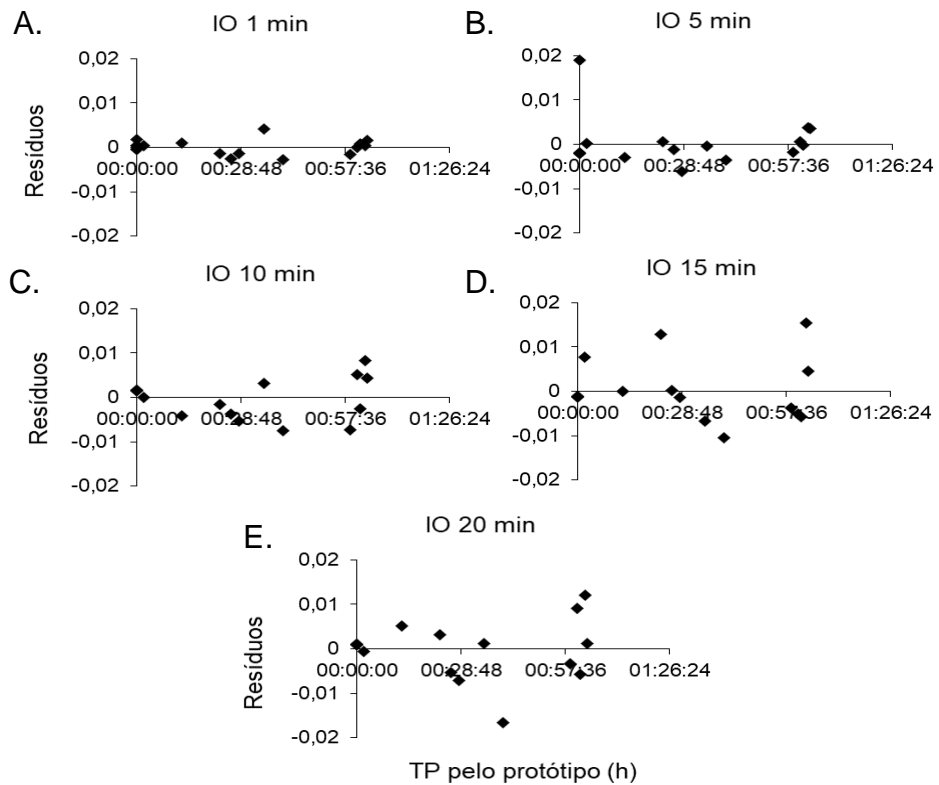
Por outro lado, a precisão para atividade de ruminação ficou em 91,44, 95,40, 90,42 e 91,71% para os intervalos de observação de 5, 10, 15 e 20 min, respectivamente. É importante destacar que em algumas repetições analisadas os animais não ruminaram, culminando em pontos com o mesmo valor (zero) entre o tempo observado e o adquirido pelo protótipo, o que acarretou forte correlação para essa variável.

Os resíduos gerados entre o tempo de cada atividade por meio do protótipo e o tempo observado nos intervalos de 1, 5, 10, 15 e 20 min estão sendo representados nas Figuras 16, 17 e 18.

**Figura 16** – Resíduos do tempo de alimentação (TA) obtido pelo protótipo em relação ao observado nos intervalos de 1 min (A), 5 min (B), 10 min (C), 15 min (D) e 20 min (E).

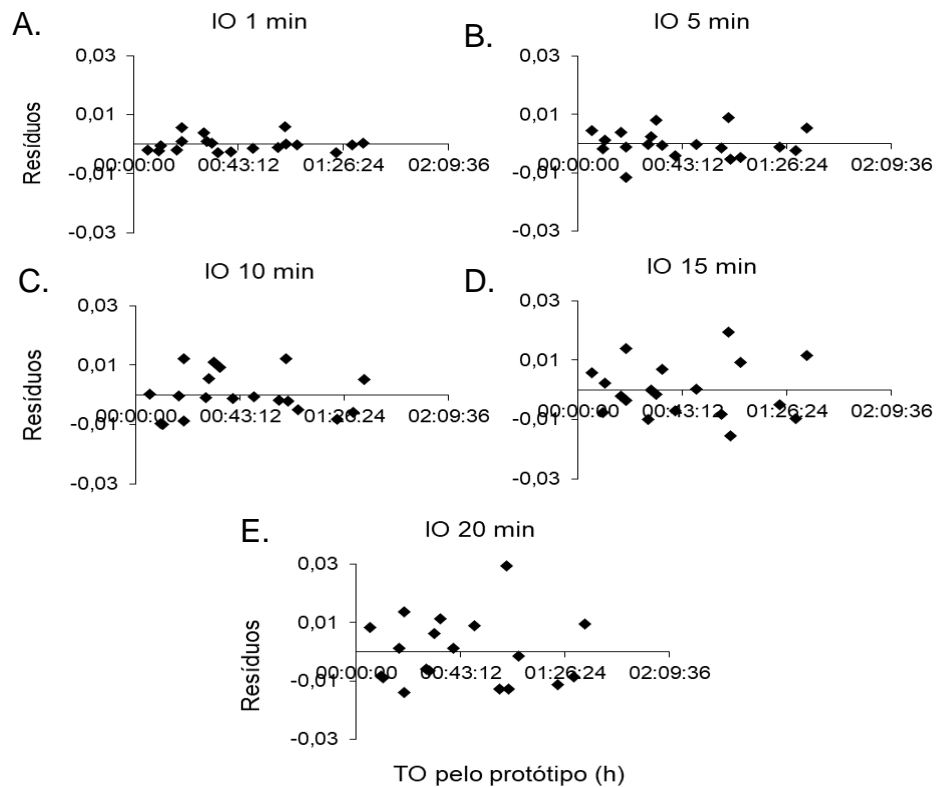


**Figura 17** - Resíduos do tempo de ruminação (TP) obtido pelo protótipo em relação ao observado nos intervalos de 1 min (A), 5 min (B), 10 min (C), 15 min (D) e 20 min (E).



Fonte: Próprio autor.

**Figura 18** – Resíduos do tempo de ócio (TO) obtido pelo protótipo em relação ao observado nos intervalos de 1 min (A), 5 min (B), 10 min (C), 15 min (D) e 20 min (E).



Fonte: Próprio autor.

Os resíduos foram alcançados pela diferença entre os valores do protótipo e os observados, sendo possível identificar que os pontos estão aleatoriamente distribuídos em torno do eixo  $y = 0$ , ou seja, sem nenhum comportamento ou tendência e evidenciando que a variância dos resíduos é constante.

De maneira semelhante à regressão ocorre com os resíduos, a partir do aumento no intervalo de observação ocorre maior dispersão dos dados e dos resíduos em torno do eixo  $y = 0$ . De acordo com Capp e Nienov (2020), os modelos se ajustam de maneira satisfatória aos dados quando os resíduos são pequenos, evidenciando que quanto maior o intervalo de observação, menos satisfatório serão os resultados.

Os cálculos da estatística pelo Erro Médio Percentual (MAPE), Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático (RMSE) e Erro Absoluto Médio (EAM) entre os dados obtidos pelo protótipo e os observados nos diferentes intervalos e atividades do animal estão ilustrados na Tabela 7.

**Tabela 7** – Erro Médio Percentual (MAPE), Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático (RMSE) e Erro Absoluto Médio (EAM) entre os dados obtidos pelo protótipo e os observados nos diferentes intervalos e atividades do animal.

| Intervalo de observação (IO) | Atividade animal |      |        |           |      |        |       |      |        |
|------------------------------|------------------|------|--------|-----------|------|--------|-------|------|--------|
|                              | Alimentação      |      |        | Ruminação |      |        | Ócio  |      |        |
|                              | MAPE             | RMSE | EAM    | MAPE      | RMSE | EAM    | MAPE  | RMSE | EAM    |
| 1 min                        | 7,78             | 0,18 | 0,0015 | 10,80     | 0,17 | 0,0011 | 11,28 | 0,17 | 0,0022 |
| 5 min                        | 15,36            | 0,26 | 0,0035 | 20,65     | 0,45 | 0,0024 | 23,22 | 0,42 | 0,0038 |
| 10 min                       | 20,88            | 0,32 | 0,0045 | 27,67     | 0,38 | 0,0031 | 33,97 | 0,48 | 0,0059 |
| 15 min                       | 30,36            | 0,41 | 0,0078 | 75,08     | 1,91 | 0,0038 | 36,78 | 0,53 | 0,0074 |
| 20 min                       | 37,92            | 0,51 | 0,0091 | 32,38     | 0,42 | 0,0040 | 52,73 | 0,75 | 0,0099 |

Legenda: MAPE: Erro Médio Percentual (indica o valor médio do erro percentual); RMSE: Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático (atribui maior peso aos erros maiores); EAM: Erro Absoluto Médio.

Essas análises estatísticas são outros mecanismos de avaliação de desempenho do protótipo em relação ao observado pelo avaliador. Para o intervalo de 1 min o MAPE apresentou erro médio de 7,78, 10,80 e 11,28% para atividade de alimentação, ruminação e ócio, respectivamente, evidenciando a boa precisão do protótipo na mensuração dessas atividades. De maneira semelhante a Giovanetti *et al.*, (2017) e Ikurior *et al.*, (2021), o comportamento de alimentação apresentou o menor erro. Além disso, o RMSE e EAM apresentaram os menores valores nesse intervalo de observação.

Atualmente, as metodologias mais usuais para avaliação de comportamento ingestivo em ovinos utilizam os intervalos de observação de 5 e 10 min, como Leite *et al.*, (2020) e Pereira *et al.*, (2019), respectivamente. Para o intervalo de 5 min foi possível observar MAPE de 15,36, 20,65 e 23,22% para atividade de alimentação, ruminação e ócio, nessa ordem. Já para o intervalo de 10 min esses valores foram de 20,88, 27,67 e 33,97% para atividade de alimentação, ruminação e ócio, respectivamente. Nesse sentido, a utilização dessas metodologias pode acarretar erros consideráveis sob os resultados da avaliação de comportamento ingestivo.

De maneira geral, os valores do MAPE, RMSE e EAM elevam-se conforme o aumento do intervalo de observação, evidenciando a diminuição da precisão nos

resultados quanto maior for esse intervalo e fortalecendo a necessidade da utilização de equipamentos que discrimine essas informações de maneira precisa.

Nesse sentido, com o intuito de exemplificar o custo de equipamentos que identificam o comportamento ingestivo em ovinos, a Tabela 8 ilustra os valores despendidos na confecção do protótipo desse estudo.

**Tabela 8** - Custo total do protótipo desenvolvido.

| Item                                    | Quantidade  | Custo unitário | Custo total      |
|---|-------------|----------------|------------------|
| Microcontrolador Atmega328p             | 1 unidade   | R\$22,90       | R\$22,90         |
| Sensor de som KY-038                    | 1 unidade   | R\$9,90        | R\$9,90          |
| Acelerômetro ADXL345                    | 1 unidade   | R\$17,98       | R\$17,98         |
| Módulo Cartão SD Card                   | 1 unidade   | R\$7,13        | R\$7,13          |
| Cartão SD                               | 1 unidade   | R\$25,00       | R\$25,00         |
| Placa de cobre                          | 1 unidade   | R\$12,00       | R\$12,00         |
| Bateria recarregável 9V                 | 1 unidade   | R\$32,60       | R\$32,60         |
| Chave liga/desliga                      | 1 unidade   | R\$1,31        | R\$1,31          |
| LED                                     | 1 unidade   | R\$0,66        | R\$0,66          |
| Cristal 16 MHz Meia Caneca - HC49S      | 1 unidade   | R\$1,00        | R\$1,00          |
| Resistores                              | 2 unidades  | R\$0,08        | R\$0,16          |
| Capacitores                             | 4 unidades  | R\$0,08        | R\$0,32          |
| LM7805                                  | 1 unidade   | R\$1,99        | R\$1,99          |
| Cabinho Flexível Branco 1,00mm          | 3 metros    | R\$1,59        | R\$4,77          |
| Conector KK 8 Vias Macho                | 1 unidade   | R\$1,34        | R\$1,34          |
| Conector KK 4 Vias Macho                | 1 unidade   | R\$0,67        | R\$0,67          |
| Alojamento para conector KK 4 Vias      | 1 unidade   | R\$0,17        | R\$0,17          |
| Alojamento para conector KK 8 Vias      | 1 unidade   | R\$0,24        | R\$0,24          |
| Terminal para alojamento de conector KK | 24 unidades | R\$0,06        | R\$1,44          |
| Cabresto                                | 1 unidade   | R\$20,00       | R\$20,00         |
| Peitoral                                | 1 unidade   | R\$40,00       | R\$40,00         |
| <b>Total</b>                            |             |                | <b>R\$201,58</b> |

O custo total foi de R\$201,58, entretanto, esse valor pode ser reduzido tendo em vista a não necessidade do sensor de som, pois o acelerômetro é capaz de discriminar as informações de comportamento ingestivo sozinho. Além disso, por ter sido um protótipo existe a possibilidade de ajustes em relação ao tamanho do equipamento, que pode ser reduzido para ser implementado apenas no cabresto e resultando na diminuição de componentes utilizados.



## 6. CONCLUSÕES

O protótipo com o acelerômetro foi capaz de discriminar parâmetros de comportamento ingestivo em ovelhas, como o tempo de alimentação, de ruminação e de ócio.

A utilização do sensor de som KY-038 não foi satisfatória para a discriminação dos parâmetros de comportamento ingestivo por meio da bioacústica. O acelerômetro triaxial ADXL345 apresentou alto coeficiente de determinação para avaliação de comportamento ingestivo em ovinos.

O uso de acelerômetro surge como alternativa para superar as dificuldades encontradas nas metodologias sobre comportamento ingestivo, pois permite a identificação real das atividades, sendo que a utilização da metodologia visual pode ocasionar em respostas menos precisas, porque quanto maior o intervalo de observação, maior será o erro das informações obtidas.

Em suma, desenvolveu-se o protótipo responsável pela aquisição de dados dos parâmetros de comportamento ingestivo em ovelha através dessa pesquisa, sendo possível ainda alguns ajustes nos custos desse equipamento, além de abrir caminhos para novos estudos sobre esta temática.

## REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, F. A. P.; BORGES, I.; ODDY, V. H.; DOBOS, R. C. Discrimination of biting and chewing behaviour in sheep using a tri-axial accelerometer. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 168, p. 1-7, 2020.
- ALVARENGA, F. A. P.; BORGES, I.; PALKOVIC, L.; RODINA, J.; ODDY, V.H.; DOBOS, R.C. Using a three-axis accelerometer to identify and classify sheep behaviour at pasture. **Applied Animal Behaviour Science**. v. 181, p. 91-99, 2016.
- ALVES, F. V.; PORFIRIO-DA-SILVA, V.; KARVATTE JUNIOR, N. Bem-estar animal e ambiência na ILPF. In: BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D. (Ed.). **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. 835 p.
- ALVES, F.; VOLPI, D.; ARGUELHO, A. D. S.; ZOPOLLATTO, M. **Bioacústica como ferramenta de avaliação do comportamento ingestivo de bovinos a pasto**. Embrapa Gado de Corte-Documents (INFOTECA-E). 2017.
- ATMEL. **ATmega328P DATASHEET**. San Jose, 2015. Disponível em: <[https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P\\_Datasheet.pdf](https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf)>. Acesso em: 10 jan. 2021.
- AZEVEDO, C. S. & BARÇANTE, L. Enriquecimento ambiental em zoológicos brasileiros: em busca do bem-estar animal. **Revista Brasileira de Zootecias**. v. 19, n. 2, p. 15-33, 2018.
- BANHAZI, T. M.; LEHR, H.; BLACK, J. L.; CRABTREE, H.; SCHOFIELD, P.; TSCHARKE, M.; BERCKMANS, D. Precision livestock farming: an international review of scientific and commercial aspects. **Int. J. Agric. Biol. Eng.**, v. 5, n. 3, p. 1-9, 2012.
- BARBOSA, J. S. R.; ROGÉRIO, M. C. P.; GALVANI, D. B.; ALVES, A. A.; POMPEU, R. C. F. F.; VASCONCELOS, A. M. Comportamento ingestivo de ovinos alimentados com dietas contendo sementes de urucum. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**. v. 10, n. 2, p. 187-198, 2016.
- BARWICK, J.; LAMB, D. W.; DOBOS, R. WELCH, M. TROTTER, M. Categorising sheep activity using a tri-axial accelerometer. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 145, p. 289-297, 2018.
- BATISTA, N. L. & SOUZA, B. B. Caprinovinocultura no semiárido brasileiro - fatores limitantes e ações de mitigação. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.11, n 2, p 01-09, 2015.
- BERCKMANS, D. Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems. **OIE Revue Scientifique et Technique**. v. 33, n. 1, p. 189–196, 2014.

- BORCHERS, M. R. & BEWLEY, J. M. An assessment of producer precision dairy farming technology use, prepurchase considerations, and usefulness. **J. Dairy Sci.** v, 98, n. 4, p. 198-205, 2015.
- BRAGA, J. S.; MACITELLI, F.; LIMA, V. A.; DIESEL, T. O modelo dos “Cinco Domínios” do bem-estar animal aplicado em sistemas intensivos de produção de bovinos, suínos e aves. **Zoociências.** v. 192, n. 2, p. 204-226, 2018.
- BROOM, D. M. Animal welfare: concepts and measurement. **Journal of Animal Science.** v. 69, p. 4167-4175, 1991.
- BROOM, D. M. **Bem-estar animal.** In: Comportamento Animal, 2ª ed. Yamamoto, M.E. and Volpato, G.L., pp. 457-482. Natal, RN; Editora da UFRN, 2011.
- BROOM, D. M. Indicators of poor welfare. **British Veterinary Journal.** v.142, p. 524-526, 1986.
- BROOM, D. M.; MOLENTO, C. F. M. BEM-ESTAR ANIMAL: CONCEITO E ASPECTOS PRINCIPAIS. **Arch. Vet.Sci.** v. 9, p. 1-11, 2004.
- CAETANO JÚNIOR, M. B.; CAETANO, G. A. O.; OLIVEIRA, M. D. A influência da dieta no desenvolvimento ruminal de bezerros. **Nutritime Revista Eletrônica.** v. 13, n. 6, p. 4902-4918, 2016.
- CAMPOS, D. P.; ABATTI, P. J.; BERTOTTI, F. L.; HILL, J. A. G.; SILVEIRA, A. L. F. Surface electromyography segmentation and feature extraction for ingestive behavior recognition in ruminants. **Computers and Electronics in Agriculture.** v. 153, p. 325-333, 2018.
- CAPP, E.& NIENOV, O. H. **Bioestatística quantitativa aplicada.** Porto Alegre: UFRGS, 2020. 260p.
- CARENZI, C. & VERGA, M. Animal welfare: review of the scientific concept and definition. **Italian Journal of Animal Science.** v. 8, n. sup1, p. 21-30, 2009.
- CAROPRESE, M. Sheep housing and welfare. **Small Ruminant Research.** v. 76, p.21-25, 2008.
- CEBALLOS, M. C. & SANT'ANNA, A. C. Evolução da ciência do bem-estar animal: aspectos conceituais e metodológicos. **Revista Acadêmica: Ciência Animal.** v. 16, Ed. Esp. 1, e161103, 2018.
- CORREIA, R. C.; MOREIRA, J. N.; ARAUJO, J. L. P.; RAMOS, C. H. S. **Importancia social e economica da caprine-ovinocultura no vale do rio Gaviao-BA: elementos para tomada de decisão.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 39., 2001, Recife. Anais... Recife: SOBER/ESALQ/EMBRAPA/UFPE/URFPE, 2001.
- COSTA, M. J. R. P.; SANT'ANNA, A. C. **Bem-estar animal como valor agregado nas cadeias produtivas de carnes.** Jaboticabal: FUNEP, 2016. 110 p.

DIOSDADO, J. A. V.; BARKER, Z. E.; HODGES, H. R.; AMORY, J. R.; CROFT, D. P.; BELL, N. J.; CODLING, E. A. Classification of behaviour in housed dairy cows using an accelerometer-based activity monitoring system. **Animal Biotelemetry**. v. 3, n. 15, 2015.

FASIABEN, M. C. R.; SANTUCCI, J. M.; MAIA, A. G.; ALMEIDA, M. M. T. B.; OLIVEIRA, O. C.; BARIONI, L. G. **Tipificação de Municípios Produtores de Bovinos no Brasil**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2013. 38 p. (Embrapa Informática Agropecuária. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 33).

FENG, X.; LAURENCE, T. Y.; LIZHE, W. Internet of Things. **International Journal of Communication Systems**, v. 25, n. 9, p. 1101–1102, 2012.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n.6, p.1039-1042, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1413-0542011000600001>.

FILIPINI, B.; DANTAS, A.; MONTANHA, A. A. O. Bem-estar e comportamento de ovinos em sistema intensivo. **Enciclopédia Biosfera**. v. 13, n. 24, p. 152-166, 2016.

FREITAS, A. C. B.; QUIRINO, C. R.; BASTOS, R. Bem-estar de ovinos: revisão. **Pubvet**. v. 11, n. 1, p.18-29, 2017.

GIOVANETTI, V.; COSSU, R.; MOLLE, G.; ACCIARO, M.; MAMELI, M.; CABIDDU, A.; SERRA, M. G.; MANCA, C.; RASSU, S. P. G.; DECANDIA, M. DIMAURO, C.; Prediction of bite number and herbage intake by an accelerometer-based system in dairy sheep exposed to different forages during short-term grazing tests. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 175, p. 1-7, 2020.

GIOVANETTI, V.; DECANDIA, M.; MOLLE, G.; ACCIARO, M.; MAMELI, M.; CABIDDU, A.; COSSU, R.; SERRA, M. G.; MANCA, C.; RASSU, S. P. G.; DIMAURO, C. Automatic classification system for grazing, ruminating and resting behaviour of dairy sheep using a tri-axial accelerometer. **Livestock Science**, v. 196, p. 42-48, 2017.

GODFREY, A.; CULHANE, K. M.; LYONS, G. M. Comparison of the performance of the activPAL™ Professional physical activity logger to a discrete accelerometer-based activity monitor. **Medical Engineering & Physics**. v. 29, p. 930-934, 2007.

GOMES, R. C.; FEIJÓ, G. L. D.; CHIARI, L. **Evolução e Qualidade da Pecuária Brasileira**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2017. (Nota Técnica).

GUO, L.; WELCH, M.; DOBOS, R.; KWAN, P.; WANG, W. Comparison of grazing behaviour of sheep on pasture with different sward surface heights using an inertial measurement unit sensor. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 150, p. 394-401, 2018.

HOSTIOU, N. *et al.* Impact of precision livestock farming on work and human-animal interactions on dairy farms. **A review**. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017: resultados preliminares** – Rio de Janeiro, 2017. (v. 7, p.1-108).

IKURIOR, S. J. MARQUETOUX, N.; LEU, S. T.; CORNER-THOMAS, R. A.; SCOTT, I.; POMROY, W. E. What Are Sheep Doing? Tri-Axial Accelerometer Sensor Data Identify the Diel Activity Pattern of Ewe Lambs on Pasture. **Sensors**. v. 21, p. 1-16, 2021.

JALAL, A.; QUAID, M. A. K.; TAHIR, S. B.; KIM, K. A Study of Accelerometer and Gyroscope Measurements in Physical Life-Log Activities Detection Systems. **Sensors**. v. 20, p. 1-22, 2020.

KHANH, P. C. P.; CHINH, N. D.; CHAM, T. T.; VUI, P. T.; TAN, T. D. Classification of cow behavior using 3-DOF accelerometer and decision tree algorithm. **IEEE**. p. 45-50, 2016.

LEITE, H. M. S.; BATISTA, N. V.; LIMA, A. F.; SILVA, L. A.; OLIVEIRA, J. T. M. C. B.; FIRMINO, S. S.; SILVA, M. R. L.; LIMA, P. O. Desempenho e comportamento ingestivo de cordeiros alimentados com dieta de alto grão. **Research, Society and Development**, v. 9, n.10, e2559108443, 2020.

LINO, D. M. PINHEIRO, R. S. B. ORTUNHO, V. V. Benefícios do bem-estar animal na produtividade e na sanidade de ovinos. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**. v. 12, n. 05, p. 124-132, 2016.

LOSS, D. E. **Uso de acelerômetro como método de mensuração de níveis de atividade física em equinos**. 2018. 80 f. Tese (Doutorado em Medicina Animal) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018.

MACEDO JUNIOR, G. L.; RUELA, P. A. C.; OLIVEIRA, K. A.; ARAÚJO, C. M.; VARANIS, L. F. M.; ASSIS, T. S. Avaliação do desempenho e comportamento ingestivo de ovinos recebendo ração extrusada em diferentes relações volumoso e concentrado. **Veterinária Notícias**. v. 25, n. 2, p. 144-160, 2019.

MAGALHÃES, K. A.; HOLANDA FILHO, Z. F.; MARTINS, E. C.; LUCENA, C. C. **Caprinos e ovinos no Brasil: análise da Produção da Pecuária Municipal 2019**. CIM. Centro de Inteligência e Mercado de Caprinos e Ovinos. Boletim Nº 11. Sobral, CE, 2020.

MILONE, D. H.; GALLI, J. R.; CANGIANO, C. A.; RUFINER, H. L.; LACA, E. A. Automatic recognition of ingestive sounds of cattle based on hidden Markov models. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 87, p. 51-55, 2012.

MILONE, D. H.; RUFINER, H. L.; GALLI, J. R.; LACA, E. A.; CANGIANO, C. A. Computational method for segmentation and classification of ingestive sounds in sheep. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 65, p. 228-237, 2009.

MOLENTO, C. F. M. Bem-estar e produção animal: aspectos econômicos. **Archives of Veterinary Science**. v. 10, n. 1, p. 1-11, 2005.

MOREIRA, S. M.; COSTA, P. T.; FERNANDES, T. A.; FARIAS, G. D.; FARIA, P. O.; SILVEIRA, R. F.; GONÇALVES, P. B.; COSTA, O. D.; SILVEIRA, I. B.; PEDROSO, C. E. Comportamento ingestivo de ovinos em gramíneas tropicais. **Archivos de Zootecnia**. v. 67, n. 258, p. 292-298, 2018.

NELSON, D. E.; ALKON, P.U.; KRAUSMAN, P.R. Using acoustic telemetry to monitor foraging by penned mule deer. **Wildlife Society Bulletin**. v.33. p.624-632, 2005.

NOGUEIRA, A. C. L. **Internet das Coisas no Agronegócio: Fundamentos e Políticas.Temas de economia aplicada**. Informações fipe. 2020. Disponível em: < <https://downloads.fipe.org.br/publicacoes/bif/bif475-39-44.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2021.

OLIVEIRA, V. S.; SANTOS, A. C. P.; VALENÇA, R. L. DESENVOLVIMENTO E FIOLOGIA DO TRATO DIGESTIVO DE RUMINANTES. **Ciência Animal**, v. 29, n.3, p.114-132, 2019.

OLIVEIRA, K. M.; CASTRO, G. H. F.; HERCULANO, B. N.; MOURTHÉ, M. H. F.; SANTOS, R. A.; PIRES, A. V. Comportamento ingestivo de bovinos leiteiros alimentados com farelo de crambe. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec**. v. 68, n. 2, p. 439-447, 2016.

PEREIRA, A. L.; SOARES, E. D. S.; BRITO, D. R. B.; CUTRIM JÚNIOR, J. A. A.; SILVIA, I. C. S.; COSTA, J. B.; SILVIA, E. M. G. Comportamento ingestivo de ovinos alimentados com diferentes níveis de resíduo úmido de cervejaria. **Revista Agrária Acadêmica**. v. 2, n. 3, p. 160-171, 2019.

PEREIRA, L. G. R. **Zootecnia de Precisão em Bovinocultura de Leite**. Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia. Belo Horizonte: FEPMVZ Editora, 2015. 145 p.

RIBAS, M.N.; CAVALCANTI, L.F.L.; MACHADO, F.S.; PAIVA, C.A.V.; PEREIRA, L.G.R. Pecuária de Precisão: Uso de tecnologias para apoio à tomada de decisão. **Zootec**. v. 1, p. 1-20, 2017.

ROBERT, B. WHITE, B. J. RENTER, D. G. LARSON, R. L. Evaluation of three-dimensional accelerometers to monitor and classify behavior patterns in cattle. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 67, p. 80-84, 2009.

SANTANA JUNIOR, H. A.; SILVA, R. R.; CARVALHO, G. G. P.; SILVA, F. F.; COSTA, P. B.; MENDES, F. B. L.; PINHEIRO, A. A.; SANTANA, E. O. C.; ABREU FILHO, G.; TRINDADE JÚNIOR, G. Metodologias para avaliação do comportamento ingestivo de novilhas suplementadas a pasto. **Semina: Ciências Agrárias**. v. 35, n. 3, p.1475-1486, 2014.

SANTOS, A. C. R.; MELO, J. C.; SILVA, L. L. N.; NETO, O. J. V.; VINHAL, L. L. Comportamento ingestivo de ovinos e caprinos na transição seca águas. In: 55ª reunião anual da sociedade brasileira de zootécnica e 28º congresso brasileiro de zootecnia. **Construindo saberes, formando pessoas e transformando a produção animal**. Goiânia-GO, 2018.

SHEN, W.; CHENG, F.; ZHANG, Y.; WEI, X.; FU, Q.; ZHANG, Y. Automatic recognition of ingestive-related behaviors of dairy cows based on triaxial acceleration. **Information processing in agriculture**, v. 7, p. 427-443, 2020.

SILVA, G. F. Inteligência e comportamento animal aplicado a robôs. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**. v. 2, n. 10, p. 90-97, 2014.

SILVA, R. S.; CRUZ, P. A. J. M.; LOPES, I. B. L.; MENEZES, J. R. R.; BEZERRA, M. E. S. SILVA, S. E. S.; SILVA, L. S.; PRADO JUNIOR, M. M.; SOUZA, F. O. BARROS, E. A. Atividades de extensão voltadas aos produtores de caprinos e ovinos do Vale do São Francisco, visando melhorias no Sistema de produção. **Extramuros**. v. 3, n. 1, p. 95-97, 2015.

SIMANUNGKALIT, G.; BARWICK, J.; COWLEY, F.; DOBOS, R.; HEGARTY, R. A Pilot Study Using Accelerometers to Characterise the Licking Behaviour of Penned Cattle at a Mineral Block Supplement. **Animals**. v. 11, p. 1-16, 2021.

SOUSA, R. V.; LOPES, W. C.; INAMASU, R. Y. Automação de máquinas e implementos agrícolas: eletrônica embarcada, robótica e sistema de gestão de informação. In: MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; ROMANI, L. A. **Tecnologias da informação e comunicação e suas relações com a agricultura**. Brasília, DF: Embrapa, cap. 11. p. 216-232, 2014.

SUGAWARA, M.T. **Estudo de sensores de baixo custo para estação meteorológica automática**. 2003. 68 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

SUPARWITO, H.; THOMAS, D. T.; WONG, K. W.; XIE, H.; RAI, S. The use of animal sensor data for predicting sheep metabolisable energy intake using machine learning. **Information Processing in Agriculture**. v. 7, p. 1-27, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2020.12.004>

TIAN, F.; WANG, J.; XIONG, B.; JIANG, L.; SONG, Z.; LI, A. F.; Real-Time Behavioral Recognition in Dairy Cows Based on Geomagnetism and Acceleration Information. **IEEE Access**. v. 9, p. 109497-109509, 2021.

TRINDADE, J. K. D.; CARVALHO, P. C. D. F.; NEVES, F. P.; PINTO, C. E.; GONDA, H. L.; NADIN, L. B.; CORREIA, L. H. S. Potencial de um método acústico em quantificar as atividades de bovinos em pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 46, p. 965-968, 2011.

VAARST, M.; ALROE, H. F. Concepts of animal health and welfare in organic livestock systems. **J. Agric. Environ Ethics**. v. 25, p. 333-347, 2012.

VEIT, H. M.; SALMAN, A. K. D.; CRUZ, P. G.; SOUZA, E. C.; SCHMITT, E. Bioacústica como método de avaliação do comportamento em pastejo de novilhas girolando. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**. v. 70, n. 3, p. 873-880, 2018.

VIEIRA, M. M. M.; FURTADO, F. M. V.; CÂNDIDO, M. J. D.; BARBOSA FILHO, J. A. D.; CAVALCANTE, A. C. R.; MAGALHÃES, J. A.; COSTA, N. L. Aspectos fisiológicos e bioclimáticos de caprinos nas regiões semiáridas. **Pubvet**. v. 10, n. 5, p. 356-369, 2016.

VIELLIARD, J. M. E. & SILVA, M. L. D. A Bioacústica como ferramenta de pesquisa em Comportamento animal. Estudos Do Comportamento Animal II. **Editora da UFPA**, Belém, 145-160. 2010.

VOLPI, D.; ALVES, F. V.; SARAIVA, E. F.; VIGAS, V. P.; ARGUELHO, A. S.; ZOPOLLATTO, M.; ALMEIDA, R. G. Validação da bioacústica como alternativa à avaliação visual para monitoramento do comportamento ingestivo de bovinos em pastagens. **BOLETIM DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO 40. Embrapa Gado de Corte**. Campo Grande, MS: Embrapa, p. 1-34, 2018.

WANG, J.; HE, Z.; JI, J. ZHAO, K. ZHANG, H. IoT-based measurement system for classifying cow behavior from tri-axial accelerometer. **Ciência Rural**. v. 49, n. 6, 2019.

WATANABE, N.; SAKANOUÉ, S.; KAWAMURA, K.; KOZAKAI, T. Development of an automatic classification system for eating, ruminating and resting behaviour of cattle using an accelerometer. **Jpn. Grassl. Sci.** 54, 231–237, 2008. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-697X.2008.00126.x>.

YURTMAN, I. Y.; SAVAS, T.; KARAAGAC, F.; COSKUNTUNA, L. Effects of daily protein intake on the oral stereotypic behaviours in energy restricted lambs. **Applied Animal Behaviour**. v. 77, n. 1, p. 77-88, 2002.

ZHANG, L.; PATHAK, P. H.; WU, M.; ZHAO, Y.; MOHAPATRA, P. AccelWord: Energy Efficient Hotword Detection through Accelerometer. **AccelWord**. Proceedings of the 13th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services - MobiSys '15. p. 301-315, 2015. doi:10.1145/2742647.2742658