

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Desenvolvimento de um RobôFrango como agente biosensor para  
coleta de variáveis ambientais para tomadas de decisão na  
avicultura de corte**

**Glauber da Rocha Balthazar**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor  
em Ciências. Área de concentração: Engenharia de  
Sistemas Agrícolas

**Piracicaba  
2024**

**Glauber da Rocha Balthazar**  
**Bacharel em Sistemas de Informação**

**Desenvolvimento de um RobôFrango como agente biosensor para coleta  
de variáveis ambientais para tomadas de decisão na avicultura de corte**  
versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:  
Prof. Dr. **IRAN JOSÉ OLIVEIRA DA SILVA**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor  
em Ciências. Área de concentração: Engenharia de  
Sistemas Agrícolas

**Piracicaba**  
**2024**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**  
**DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Balthazar, Glauber da Rocha

Desenvolvimento de um RobôFrango como agente biosensor para coleta de variáveis ambientais para tomadas de decisão na avicultura de corte / Glauber da Rocha Balthazar. Versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011 - - Piracicaba, 2024.

236 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. RobôFrango 2. Robótica avicultura de corte 3. Agente biosensor 4. Análise da ambiência em frangos I. Título

## SUMÁRIO

|                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| RESUMO.....                                                                                                                        | 9  |
| ABSTRACT .....                                                                                                                     | 10 |
| 1 INTRODUÇÃO .....                                                                                                                 | 9  |
| 2 DESENVOLVIMENTO .....                                                                                                            | 13 |
| 3.1 Introdução e contextualização .....                                                                                            | 16 |
| 3.2 Fundamentação teórica .....                                                                                                    | 17 |
| 3.2.1 Ambiência avícola .....                                                                                                      | 17 |
| 3.2.1.1 Ambiência térmica.....                                                                                                     | 18 |
| 3.2.1.2 Ambiência química.....                                                                                                     | 20 |
| 3.2.1.3 Ambiência física.....                                                                                                      | 23 |
| 3.2.2 Robótica na avicultura industrial .....                                                                                      | 24 |
| 3.4. Materiais e Métodos - Revisão Bibliométrica .....                                                                             | 28 |
| 3.4.1 Revisão de literatura .....                                                                                                  | 30 |
| 3.4.2 Determinação das “Keywords” .....                                                                                            | 30 |
| 3.4.3 Banco de dados .....                                                                                                         | 30 |
| 3.4.4 Análises qualitativas e quantitativas.....                                                                                   | 31 |
| 3.5 Resultados.....                                                                                                                | 31 |
| 3.6 Discussões .....                                                                                                               | 39 |
| 3.7 Conclusões .....                                                                                                               | 41 |
| Referências.....                                                                                                                   | 42 |
| 4 DESIGN E PROTOTIPAÇÃO DE UMA ESTRUTURA ROBÓTICA PARA UM<br>ROBÔ NA AVICULTURA DE FRANGOS DE CORTE .....                          | 51 |
| 4.1 Introdução.....                                                                                                                | 52 |
| 4.2 Materiais e Métodos.....                                                                                                       | 53 |
| 4.3 Resultados e Discussões.....                                                                                                   | 54 |
| 4.3.1 Prototipações evolutivas .....                                                                                               | 54 |
| 4.3.2 Modelagem 3D e implementação física .....                                                                                    | 70 |
| 4.3.3 Codificação e experimento em campo .....                                                                                     | 78 |
| 4.4 Conclusões e considerações finais.....                                                                                         | 81 |
| Referências.....                                                                                                                   | 81 |
| 5 HOW DO ESCAPE DISTANCE BEHAVIOR OF BROILER CHICKENS CHANGE IN<br>RESPONSE TO A MOBILE ROBOT MOVING AT TWO DIFFERENT SPEEDS? .... | 86 |
| 5.1 Introduction .....                                                                                                             | 87 |
| 5.2 Materials and Methods.....                                                                                                     | 88 |
| 5.2.1 Location, characterization of the study area and ethical regulations .....                                                   | 88 |
| 5.2.2 Robotic Prototyping .....                                                                                                    | 88 |
| 5.2.3 Data collection.....                                                                                                         | 89 |
| 5.2.4 Escape distance analysis .....                                                                                               | 89 |

|                                                                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.2.5 Statistical analysis .....                                                                                                   | 91  |
| 5.2.6 Execution method .....                                                                                                       | 92  |
| 5.3 Results and discussion.....                                                                                                    | 92  |
| 5.4 Limitations .....                                                                                                              | 96  |
| 5.5 Implications .....                                                                                                             | 97  |
| 5.6 Conclusions.....                                                                                                               | 97  |
| References.....                                                                                                                    | 97  |
| 6 DESENVOLVIMENTO DE UM SENSOR PARA ANÁLISE AMBIENTAL DE AVIÁRIOS DE FRANGOS DE CORTE.....                                         | 100 |
| 6.1 Introdução .....                                                                                                               | 101 |
| 6.2 Materiais e Métodos .....                                                                                                      | 102 |
| 6.3 Execução e Análise.....                                                                                                        | 104 |
| 6.3.1 Ciclo 1: Esquema elétrico .....                                                                                              | 105 |
| 6.3.2 Ciclo 2: prototipação física.....                                                                                            | 106 |
| 6.3.3 Ciclo3: certificação (calibração) .....                                                                                      | 108 |
| 6.4 Conclusões e considerações finais .....                                                                                        | 115 |
| Agradecimentos .....                                                                                                               | 116 |
| Referências .....                                                                                                                  | 116 |
| 7 DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO ELETROMECHANICO DE DETECÇÃO DE UMIDADE DA CAMA EM AVIÁRIOS COMERCIAIS DE FRANGO DE CORTE ..... | 120 |
| 7.1 Introdução .....                                                                                                               | 121 |
| 7.2 Materiais e Métodos .....                                                                                                      | 122 |
| 7.3 Resultados e Discussões .....                                                                                                  | 123 |
| 7.3.1. Prototipação lógica e física.....                                                                                           | 123 |
| 7.3.2 Determinação do sensor de umidade de solo.....                                                                               | 126 |
| 7.3.3 Modelagem e execução do algoritmo de detecção de umidade .....                                                               | 130 |
| 7.4. Avaliação e determinação da umidade em aviário comercial.....                                                                 | 134 |
| 7.5 Conclusões .....                                                                                                               | 141 |
| Agradecimentos .....                                                                                                               | 141 |
| Referências .....                                                                                                                  | 142 |
| 8 EXECUÇÃO, AVALIAÇÃO E ANÁLISE DO ROBÔFRANGO: PROVA DE CONCEITO PARA UM AGENTE BIOSENSOR.....                                     | 145 |
| 8.1. Introdução .....                                                                                                              | 146 |
| 8.2. Materiais e Métodos .....                                                                                                     | 147 |
| 8.2.1 RobôFrango (Mínimo Produto Viável [MVP]).....                                                                                | 147 |
| 8.2.2 Sistema de deslocamento .....                                                                                                | 149 |

|                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.2.2.1 Visão computacional (YoloV8) .....                              | 149 |
| 8.2.2.2 Distanciamento de objetos RP LiDAR .....                        | 150 |
| 8.2.2 Validação em campo e análises .....                               | 151 |
| 8.2.3 CEUA .....                                                        | 154 |
| 8.3. Resultados e Discussão .....                                       | 155 |
| 8.3.1 Sistema de deslocamento .....                                     | 155 |
| 8.3.2 Navegabilidade semi autônoma .....                                | 157 |
| 8.3.3 Coleta e análise de dados .....                                   | 159 |
| 8.3.3.1 Comparação entre partições .....                                | 160 |
| 8.3.3.2 Entalpia específica do ar .....                                 | 165 |
| 8.3.3.3 Umidade da cama .....                                           | 166 |
| 8.4. Conclusões .....                                                   | 170 |
| Agradecimentos .....                                                    | 171 |
| Referências .....                                                       | 171 |
| 9 CONCLUSÕES .....                                                      | 178 |
| REFERÊNCIAS .....                                                       | 180 |
| ANEXOS .....                                                            | 182 |
| Anexo A – Código de tratamento dos dados da revisão bibliométrica ..... | 182 |
| Anexo B - Código da movimentação do robô na pista de teste .....        | 183 |
| Anexo C - Código fonte do 6o Protótipo (LiDAR) .....                    | 184 |
| Anexo D - Código fonte do 6o Protótipo (comedouros por cor) .....       | 189 |
| Anexo E - Código fonte completo do 6o Protótipo (distanciamento) .....  | 192 |
| Anexo F - Código do Sensor Ambiental (ATMEGA 2560) .....                | 199 |
| Anexo G - Código do Sensor Ambiental (ESP 8266) .....                   | 204 |
| Anexo H – (Código do Sensor Umidade da Cama) .....                      | 205 |
| Anexo I – Treinamento do modelo de ML para movimentação .....           | 207 |
| Anexo J - Código final do RoboFrango .....                              | 209 |
| Anexo K – Análise individual das partições .....                        | 216 |

## RESUMO

### **Desenvolvimento de um RobôFrango como agente biosensor para coleta de variáveis ambientais para tomadas de decisão na avicultura de corte**

A avicultura de corte é um dos setores de produção de proteína animal mais rentáveis do mundo. Sua produção somente é possível ser realizada de forma industrial por meio da utilização de ambientes artificiais para criação dos animais. Os índices das variáveis microclimáticas desse ambiente são cruciais para o desempenho dos animais, portanto, controlar e atuar com efetividade na monitoração, manutenção e equilíbrio dessas variáveis torna-se fundamental para atingir níveis produtivos satisfatórios. Esse trabalho apresenta a hipótese da construção de um elemento robótico móvel, denominado RobôFrango, que atuou em um aviário comercial de frangos de corte movimentando-se entre os animais e obtendo as informações do micro clima no nível dos animais agindo assim como um agente biosensor. Para tanto uma estrutura robótica móvel foi construída respeitando as características dos animais, como uma correta velocidade de movimentação que não causava grandes velocidades de fuga e, conseqüentemente, pânico aos animais. A esse robô foi acoplado um conjunto de sensores das variáveis de interesse da avicultura de corte denominado Sensor Ambiental, que também foi construído especificamente para este projeto. Desta forma o robô movimentou-se pelo aviário carregando o módulo Sensor Ambiental e registrou as informações do micro clima local e, em seguida, enviou para um sistema em nuvem para armazenamento dos dados. Isso possibilitou a análise das informações e gerou inferências estatísticas que apresentaram as diferenças micro climáticas existentes no aviário. O resultado é que o RobôFrango se demonstrou um excelente *Minimum Viable Product* para agir como um agente biosensor por ter apresentado a capacidade de coleta, transmissão e posterior análise dos dados ambientais.

Palavras-chave: RobôFrango, Robótica avicultura de corte, Agente biosensor, Análise da ambiência em frangos

## **ABSTRACT**

### **Development of a Chicken Robot as a biosensing agent for collecting environmental variables for decision making in poultry farming**

Poultry farming is one of the most profitable animal protein production sectors in the world. Its production can only be carried out industrially through the use of artificial environments to raise animals. The indices of the microclimatic variables of this environment are crucial for the performance of the animals, therefore, controlling and acting effectively in monitoring, maintaining and balancing these variables becomes essential to achieve satisfactory production levels. This work presents the hypothesis of building a mobile robotic element, called RobôFrango, which operated in a commercial broiler aviary, moving between the animals and obtaining information on the microclimate at the level of the animals, thus acting as a biosensing agent. To this end, a mobile robotic structure was built respecting the characteristics of the animals, such as a correct movement speed that did not cause high escape speeds and, consequently, panic to the animals. This robot was coupled with a set of sensors for the variables of interest in poultry farming called Environmental Sensor, which was also built specifically for this project. In this way, the robot moved around the aviary carrying the Environmental Sensor module and recorded information about the local microclimate and then sent it to a cloud system to store the data. This made it possible to analyze the information and generate statistical inferences that presented the microclimatic differences existing in the poultry house. The result is that RobôFrango proved to be an excellent Minimum Viable Product to act as a biosensing agent as it has the ability to collect, transmit and subsequently analyze environmental data.

**Keywords:** RobotChicken, Poultry robotics, Biosensor agent, Environmental analysis in chickens



## 1 INTRODUÇÃO

Os setores de produção sofreram rápidas e profundas transformações nos últimos anos devido a 4ª revolução industrial. Isso possibilitou a construção de novas e inimagináveis tecnologias que estão fundindo os mundos físico, digital e biológico por meio da combinação das intenções humanas com respostas em máquinas inteligentes (LENG et al., 2024; ROSE et al., 2021; SCHWAB, 2016). A produção agrícola também se usa destas inovações para aumentar a produção, em menor tempo e com menores custos. Neste contexto surge um novo conceito denominado Agricultura 4.0 (Agro 4.0) (uma referência a Indústria 4.0 que remete a 4ª revolução industrial, diferente da Agricultura de Precisão que apenas considera o sistema de gerenciamento agrícola das características georreferenciadas de cada ponto da propriedade) que pode ser definida como sendo a utilização de diversos métodos computacionais (sensores, *cloud computing*, robótica, inteligência artificial, *big data*, etc.) associados a soluções analíticas para auxiliar no suporte à tomada de decisão inteligente especificamente nos índices produtivos por meio da identificação e mitigação da redução de custos e perdas (EREKALO et al., 2024; SILVEIRA et al., 2023; SILVEIRA et al., 2021; MASSRUHÁ; LEITE, 2017).

O Agro 4.0 tem apresentado modificações no funcionamento das fazendas pois se utiliza de tecnologias para promover maior produtividade com controles computacionais. Exemplificando pode-se citar: uso de estratégias de *deep learning* em algoritmos de visão computacional para detectar emoções faciais nos rostos de porcos servindo como um modelo para avaliar emoções, bem estar e intenções dos animais (LILI et al., 2024); redes neurais convolucionais para determinar o tempo de consumo de ração de frangos de corte por meio de visão computacional, que captura imagens do animal se alimentando, objetivando determinar o comportamento durante este processo (NASIRI et al., 2024); uso de *machine learning*, sensores e visão computacional como um método de reconhecimento de comportamento agressivo de galinhas identificando danos à plumagem e feridas com bicadas na coroa (LI et al., 2024), dentre diversas outras aplicações.

Nestes trabalhos compreende-se uma combinação de tecnologias de *hardware* e *software* que conseguem coletar e processar dados em informações para que possam ser utilizadas na análise da produção. Estas tecnologias fazem parte da Ciência da Computação que inclui *Internet das Coisas* (*Internet of Things* –

IoT), Inteligência Artificial (IA), *Big Data*, Visão Computacional, *Machine Learning*, etc. A partir deste contexto é possível visualizar um vasto campo de pesquisas mediante uma série de desafios na produção agropecuária. Estes desafios estão relacionados ao manejo, controle e distribuição que podem estar atrelados a tecnologias computacionais para redução de perdas (mortalidade, perda de peso, descontrole de ambiente, etc.) por meio da adoção de um conjunto de ferramentas (matemáticas, métodos de automação, algoritmos, etc.) (LENG et al., 2024; EREKALO et al., 2024; NEVES, 2021).

Este trabalho encontra-se inserido em um campo de ideias, inovações e soluções que tem muito a se explorar para produzir resultados que aliam tecnologia da informação e produção agrícola. Isso possibilita a criação de diversas soluções inteligentes para a produção animal na Engenharia de Biosistemas especificamente direcionado para avicultura de corte. Nesta área é possível idealizar a criação de um modelo robotizado que possa analisar as interferências do ambiente de produção sobre o animal e direcionar informações para uma tomada de decisão assertiva. Portanto, esta condição caracteriza a presente proposta como um objeto de estudo inédito, com aplicações diretas a médio e longo prazo, para a avicultura.

Nesta contextualização, e numa visão da Engenharia de Sistemas Agrícolas o frango pode ser interpretado como um biosensor com o potencial de quantificar respostas fisiológicas, imunológicas, produtivas, reprodutivas e comportamentais frente a diferentes indicadores de produção. Alguns estudos fazem referência à construção de biosensores inteligentes capazes de coletar informações de um animal quantificando-o como um indivíduo numa escala produtiva e compreendo sua interação no microambiente em que habita (ROMANO et al., 2024; BAO 2023; LAZIC; SCHMICKL, 2023; ZHANG, 2023; NEETHIRAJAN et al., 2018).

Esta proposta se respalda na união dos conhecimentos técnicos existentes na área da Engenharia de Sistemas Agrícolas com a Engenharia da Computação no desenvolvimento de um “agente biosensor”, ou “modelo-eletrônico-robótico”, para analisar as condições de ambiência na avicultura de corte. Desta forma, analisar apenas o ambiente no qual o animal está inserido em uma produção pode não ser o suficiente para compreender todos os fatores que influenciam nos seus índices produtivos. Portanto, faz-se necessário analisar seus dados individuais perante sua interação no ambiente para compreender seus índices produtivos a fim de descobrir dados que possam contribuir para a redução de perdas e

consequentemente aumento da produtividade. Ou seja, existe atualmente uma lacuna entre tecnologia e animais de produção que pode ser preenchida com a criação de um modelo/dispositivo eletrônico-robotizado que possa ser inserido no sistema de produção captando informações, interagindo com o ambiente e auxiliando na atuação dos sistemas diretamente na tomada de decisões.

A hipótese (h0) deste trabalho parte da premissa de que é possível a criação de um “animal digital” que represente o animal-indivíduo (frango de corte) como um agente eletrônico e biosensor capaz de captar os sinais do microambiente em que está inserido, processá-los transformando-os em dados e enviar estes dados para um sistema de informação que tenha a capacidade de disponibilizar estas informações para uma tomada de decisão dentro da estrutura produtiva de frangos (aviário comercial).

## **1.1 Objetivos Gerais**

Desenvolvimento de um animal-robô (especificamente um RobôFrango) para caracterizá-lo como um agente biosensor na aquisição de variáveis da ambiência do sistema de criação para processamento e tomadas de decisão.

### **1.1.1 Objetivos específicos**

Objetivos secundários incluem:

- a construção da estrutura robótica e seus elementos de sensoramento ambiental utilizando plataformas de prototipagem eletrônica com microcontroladores, microcomputadores e sensores especializados, que possibilitem o registro de informações ambientais ao longo do ciclo de criação;
- criação de um sistema de transferência dos dados registrados no RobôFrango para um servidor remoto (WebService - nuvem); e
- validação do dispositivo robótico em um sistema comercial de frangos de corte dentro de um aviário convencional.

Para atender a esses objetivos este trabalho foi dividido em seis capítulos assim denominados:

- Capítulo 3: Uso da robótica em sistemas de produção de frangos de corte: uma relação entre tecnologia, ambiência e sistema produtivo;

- Capítulo 4: Design e prototipação de uma estrutura robótica para um robô na avicultura de frangos de corte;
- Capítulo 5: How do escape distance behavior of broiler chickens change in response to a mobile robot moving at two different speeds? (artigo publicado na revista Animals: Volume 14, edição 7, doi: 10.3390/ani14071014;
- Capítulo 6: Desenvolvimento de um sensor para análise ambiental de aviários de frangos de corte;
- Capítulo 7: Desenvolvimento de um dispositivo eletromecânico de detecção de umidade da cama em aviários comerciais de frango de corte; e
- Capítulo 8: Execução, avaliação e análise do RobôFrango: prova de conceito para um agente biossensor.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Materiais e Métodos

A construção dos elementos constituintes deste projeto foram guiadas pelo metamodelo evolucionário Modelo em Espiral de Boehm (BOEHM et al., 2014) e o método Scrum (SUTHERLAND, 2020). Partindo do objetivo geral o conteúdo desenvolvido nesta tese é apresentada em três partes como apresentado na Figura 1.

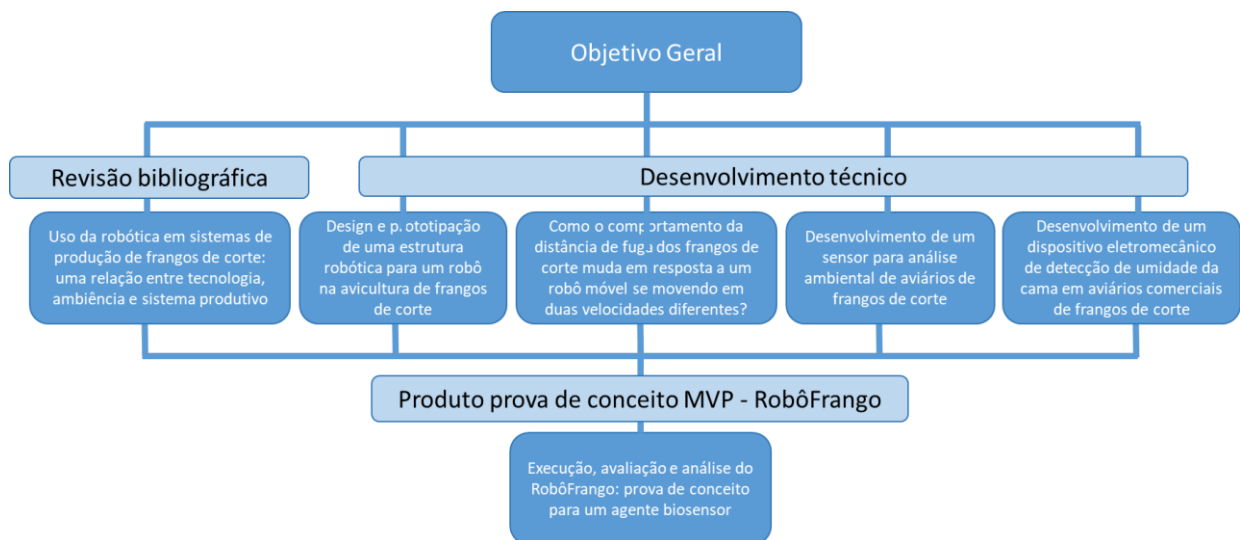


Figura 1. Arquitetura da apresentação da tese.

As partes são descritas a seguir:

1. **Revisão bibliográfica:** diversos estudos adaptativos foram realizados para compreender o uso da robótica na produção de frangos de corte e o detalhamento da ambiência em aviários comerciais. O resultado destes estudos estão descritos no artigo de revisão bibliográfica (Uso da robótica em sistemas de produção de frangos de corte: uma relação entre tecnologia, ambiência e sistema produtivo)
2. **Desenvolvimento técnico:** foi realizada por meio da prototipação de modelos robóticos que melhor se adequassem ao ambiente do aviário de frangos de corte procurando identificar os equipamentos mais adequados e a melhor forma de velocidade de deslocamento do robô dentro do aviário sem causar pânico. Os estudos que nortearam esta atividade estão descritos nos artigos técnicos Estrutura robótica (Design e prototipação de

uma estrutura robótica para um robô na avicultura de frangos de corte) e Distância de fuga (How do escape distance behavior of broiler chickens change in response to a mobile robot moving at two different speeds). A construção do módulo de sensor ambiental foi guiado pela revisão bibliográfica que apontou quais as principais variáveis ambientais de interesse para monitoramento da qualidade do aviário. O detalhamento desta parte foi escrito nos artigos: Sensor ambiental (Desenvolvimento de um sensor para análise ambiental de aviários de frangos de corte) e Sensor umidade cama (Desenvolvimento de um dispositivo eletromecânico de detecção de umidade da cama em aviários comerciais de frango de corte);

3. **Produto prova de conceito MVP – RobôFrango:** foi realizada em um aviário comercial onde foram analisadas a capacidade do robô se comportar como um agente biosensor na coleta, transmissão e análise dos dados. O detalhamento desta parte foi escrito no artigo: Execução, avaliação e análise do RobôFrango: prova de conceito para um agente biossensor.

### 3 USO DA ROBÓTICA EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE FRANGOS DE CORTE: UMA RELAÇÃO ENTRE TECNOLOGIA, AMBIÊNCIA E SISTEMA PRODUTIVO

#### Resumo

Na avicultura de corte a robótica é atualmente representada por modelos de robôs comerciais que atuam em diferentes funções nos aviários comerciais. Dentre estas funções a ambiência é uma das mais críticas, pois o aviário é considerado um ambiente artificial que precisa apresentar todas as características necessárias para a manutenção termo regulatória dos animais. Este artigo é uma revisão do status tecnológico da robótica, ambiência e tecnologias associadas a robótica na avicultura moderna. Utilizou-se uma combinação de duas técnicas metodológicas de revisão de literatura (sistemática e bibliométrica) para identificar como a robótica está sendo utilizada na avicultura de corte, sua relação com a ambiência e tendências em geral. Limiares para diversos parâmetros de ambiência como térmica, química e física foram avaliados com base em dados da literatura. Também, foram encontrados diversos robôs que atuam em diferentes funções nos aviários e a ambiência é caracterizada apenas como uma das possibilidades, mas que ainda apresenta deficiências em função da falta de comunicação de alto desempenho, impedindo assim uma tomada de decisão assertiva. Grande parte do resultado das pesquisas indicam terem sido realizadas nos últimos quatro anos, sendo a China, Estados Unidos e Reino Unido os países que mais publicaram. As tendências são de que a visão computacional seja a tecnologia mais explorada nos robôs que estão associados diretamente com a automação da produção (p.ex. manejo e navegação) e a inteligência artificial e internet das coisas relacionadas aos robôs relacionados ao sistema produtivo (p.ex. ambiência e gerenciamento de informações).

**Palavras-chave:** Robótica na avicultura, Tendências de tecnologia na avicultura, Avicultura inteligente, Revisão bibliométrica

#### Abstract

In poultry farming, robotics is currently represented by models of commercial robots that perform different functions in commercial poultry farms. Among these functions, ambience is one of the most critical, as the aviary is considered an artificial environment, it needs to present all the characteristics necessary for the thermoregulatory maintenance of animals. This article is a review of the technological status of robotics, environment and technologies associated with robotics in modern poultry farming. A combination of two methodological literature review techniques (systematic and bibliometric) was used to identify how robotics are being used in poultry farming, its relationship with the environment and trends in general. Thresholds for various ambience parameters such as thermal, chemical and physical were evaluated based on data from the literature. Also, several robots were found that perform different functions in poultry houses and the environment is characterized as just one of the possibilities, but it still presents deficiencies due to the lack of high-performance communication, thus preventing assertive decision-making. Much of the research was carried out in the last four years, with China, the United States and the United Kingdom being the countries that published the most.

The trends are that computer vision is the technology most explored in robots that are directly associated with production automation (e.g. handling and navigation) and artificial intelligence and the internet of things related to robots related to the production system (e.g. .e.g. ambience and information management).

**Keywords:** Robotics in poultry farming, Technology trends in poultry farming, Smart poultry farming, Bibliometric review

### 3.1 Introdução e contextualização

A avicultura de corte moderna, guiada pela redução de perdas e diminuição de custos, utiliza diversos componentes tecnológicos da Indústria 4.0 para aumentar a produtividade do sistema produtivo (AHMED et al., 2024). Os impulsionadores para esta demanda são o crescente aumento demográfico da população que resulta em um consumo cada vez maior de alimentos (WAKCHAURE et al., 2023; SILVA et al., 2023) e o crescimento do comércio internacional aliado a uma necessidade maior de ecossistemas agrícolas intensivos (BUI et al., 2024).

Dentre os componentes tecnológicos, destaca-se a robótica por ser adaptável às granjas devido a sua versatilidade de uso em diferentes condições. Isto permite o uso da automação inteligente na produção animal por conta de suas propriedades tecnológicas como: percepção, raciocínio, aprendizado, comunicação, planejamento e execução de tarefas (CHENG et al., 2023; REN et al., 2020). As perspectivas e tendências apontam que a robótica seja cada vez mais ampliada na produção animal, diminuindo as intervenções humanas em atividades físicas e promovendo maior precisão sobre os índices produtivos em função de avaliações eficazes baseadas em dados de tempo real (ABREU et al., 2020; MANSILHA et al., 2019).

Atualmente os métodos de coleta de dados são relativamente simples e pouco robustos, demonstrando que a comunicação de alto desempenho (caracterizada por ser em tempo real e pela forte interação entre humano/robô) ainda não é realizada em sua plena capacidade (REN et al., 2020). Este fato, amplia a vasta possibilidade de pesquisas que incluam nesta ótica a ambiência de precisão possibilitando que robôs consigam coletar e transmitir dados produtivos para análises complexas por meio de modelagens matemáticas que determinem níveis de conforto térmico e de saúde em tempo real, além de visualização de métricas do *status* produtivo e sanitário dos plantéis para tomadas de decisões assertivas (PHIRI et al., 2018). Além disso, ainda há o desafio da construção de designs robóticos que

sejam aplicáveis aos diferentes ambientes avícolas atuais (compatíveis com a escala produtiva em termos de dimensão, movimentação, sistemas de criação, modelos de ambiência, etc.) e que possam respeitar o bem-estar das aves (WU et al., 2022).

Nesta revisão é realizada uma análise histórica dos últimos dez anos e o atual estado da robótica na avicultura de corte em função dos fatores ambientais que influenciam nos índices produtivos utilizando ferramentas tecnológicas, relacionadas a robótica (automação e os componentes eletrônicos [sensores e atuadores]). A partir desse levantamento será possível compreender quais tendências estão em evidência ou em desuso nesse cenário tecnológico, além de estabelecer um *status quo* da robótica na avicultura de corte mundial.

### **3.2 Fundamentação teórica**

A avicultura de corte caracteriza-se pela produção de uma proteína animal de baixo custo para o consumo humano. O frango apresenta, em curto espaço de tempo, boa conversão alimentar por meio de um rápido ganho de peso mantendo um crescimento uniforme tornando-o um produto apreciado no mercado internacional (QI et al., 2023). Estas características foram obtidas por meio da evolução sistemática do melhoramento genético a partir do cruzamento de várias raças de aves para a obtenção de linhagens comerciais com grande desempenho na produção de carne como Cobb, Ross, Arbor, Acres, Hubbard, dentre outras (HARTCHER, LUM, 2019; FULTON, 2012; LOPES, 2011).

#### **3.2.1 Ambiência avícola**

O ambiente artificial gerado em um aviário deve suprir todas as necessidades da homeostase animal. Diversos autores afirmam que as principais variáveis ambientais que devem ser controladas neste ambiente artificial são aquelas relacionadas a ambiência: térmica (temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do ar); física (radiação térmica e nível de luminosidade); química (presença de gases nocivos [amônia, monóxido de carbono e dióxido de carbono] e o nível de poeira); e a biológica (indivíduos e micro organismos) (MELAK et al., 2024; MUNIZ, 2019; SILVA et al., 2015; GUNDIM et al., 2015; SCHIASSI et al., 2015; FIGUEIRA et al., 2014; SALSÁ; MOREIRA, 2014; SCHIASSI, 2013; CAMPOS, 2013) .

### **3.2.1.1 Ambiência térmica**

O frango é um animal muito sensível a variações térmicas especialmente na fase inicial de sua vida pois, neste período, ainda não tem os mecanismos fisiológicos para termorregulação completamente desenvolvidos. Desta forma o aviário deve proporcionar um ambiente seguro e controlado de temperatura e umidade do ar que garanta o ideal desenvolvimento do animal. Em termos de umidade Ross (2019) e Jong et al. (2012) afirmam que os primeiros três dias de vida do animal são cruciais para o seu desenvolvimento e neste período a umidade deve estar controlada entre 60-70% e, em idades mais avançadas, o excesso de umidade pode provocar camas úmidas e proporcionar problemas de saúde ao animal. Porém, durante o desenvolvimento do frango, Jong et al. (2012) afirmam que valores abaixo de 50% de umidade podem contribuir para o aumento de partículas no ar favorecendo assim o surgimento de problemas respiratórios. Abreu, Abreu (2011) e Macari, Furlan (2001) consideram como críticas qualquer variação da umidade quando abaixo de 40% ou acima de 80% para toda a fase de desenvolvimento do animal (Tabela 1).

**Tabela 1.** Referências de temperatura e umidade para frangos de corte.

| Umidade Relativa (%)                                                  |                |      |      | Temperatura do ar (°C)                                                |                |      |      |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------|------|------|-----------------------------------------------------------------------|----------------|------|------|
| Autores                                                               | Semana         | Min. | Máx. | Autores                                                               | Semana         | Min. | Máx. |
| Macari, Furlan<br>(2001)                                              | 1 <sup>a</sup> | ≈ 60 |      | Macari, Furlan<br>(2001)                                              | 1 <sup>a</sup> | 33   | 35   |
|                                                                       | 2 <sup>a</sup> |      |      |                                                                       | 2 <sup>a</sup> | 30   | 33   |
|                                                                       | 3 <sup>a</sup> |      |      |                                                                       | 3 <sup>a</sup> | 27   | 30   |
|                                                                       | 4 <sup>a</sup> |      |      |                                                                       | 4 <sup>a</sup> | 24   | 27   |
|                                                                       | 5 <sup>a</sup> |      |      |                                                                       | 5 <sup>a</sup> | 21   | 25   |
|                                                                       | 6 <sup>a</sup> |      |      |                                                                       | 6 <sup>a</sup> | 21   | 24   |
| Tinôco (2004)<br>Macari et al.<br>(2004)<br>Medeiros et al.<br>(2005) | 1 <sup>a</sup> | 60   | 70   | Tinôco (2004)<br>Macari et al.<br>(2004)<br>Medeiros et al.<br>(2005) | 1 <sup>a</sup> | 32   | 34   |
|                                                                       | 2 <sup>a</sup> |      |      |                                                                       | 2 <sup>a</sup> | 28   | 32   |
|                                                                       | 3 <sup>a</sup> |      |      |                                                                       | 3 <sup>a</sup> | 18   | 28   |
|                                                                       | 4 <sup>a</sup> |      |      |                                                                       | 4 <sup>a</sup> | 18   | 26   |
|                                                                       | 5 <sup>a</sup> |      |      |                                                                       | 5 <sup>a</sup> | 18   | 26   |
|                                                                       | 6 <sup>a</sup> |      |      |                                                                       | 6 <sup>a</sup> | 18   | 26   |
| Abreu, Abreu<br>(2011)                                                | 1 <sup>a</sup> | 60   | 70   | Abreu, Abreu<br>(2011)                                                | 1 <sup>a</sup> | 32   | 35   |
|                                                                       | 2 <sup>a</sup> |      |      |                                                                       | 2 <sup>a</sup> | 29   | 32   |
|                                                                       | 3 <sup>a</sup> |      |      |                                                                       | 3 <sup>a</sup> | 26   | 29   |
|                                                                       | 4 <sup>a</sup> |      |      |                                                                       | 4 <sup>a</sup> | 23   | 26   |
|                                                                       | 5 <sup>a</sup> |      |      |                                                                       | 5 <sup>a</sup> | 20   | 23   |
|                                                                       | 6 <sup>a</sup> |      |      |                                                                       | 6 <sup>a</sup> | 20   | 20   |
| Cobb (2019)                                                           | 1 <sup>a</sup> | 30   | 50   | Cobb (2019)                                                           | 1 <sup>a</sup> | 32   | 33   |
|                                                                       | 2 <sup>a</sup> | 40   | 60   |                                                                       | 2 <sup>a</sup> | 29   | 30   |
|                                                                       | 3 <sup>a</sup> | 50   | 60   |                                                                       | 3 <sup>a</sup> | 27   | 28   |
|                                                                       | 4 <sup>a</sup> | 50   | 65   |                                                                       | 4 <sup>a</sup> | 24   | 26   |
|                                                                       | 5 <sup>a</sup> | 50   | 70   |                                                                       | 5 <sup>a</sup> | 21   | 23   |
|                                                                       | 6 <sup>a</sup> | 50   | 70   |                                                                       | 6 <sup>a</sup> | 19   | 21   |
| Campos (2015)<br>Ross (2010)                                          | 1 <sup>a</sup> | 60   | 70   | Rosa (2016)                                                           | 1 <sup>a</sup> | 31   | 32   |
|                                                                       | 2 <sup>a</sup> |      |      |                                                                       | 2 <sup>a</sup> | 28   | 30   |
|                                                                       | 3 <sup>a</sup> |      |      |                                                                       | 3 <sup>a</sup> | 26   | 28   |
|                                                                       | 4 <sup>a</sup> |      |      |                                                                       | 4 <sup>a</sup> | 24   | 26   |
|                                                                       | 5 <sup>a</sup> |      |      |                                                                       | 5 <sup>a</sup> | 22   | 24   |
|                                                                       | 6 <sup>a</sup> |      |      |                                                                       | 6 <sup>a</sup> | 20   | 22   |
| <b>Média Umidade</b>                                                  | 1 <sup>a</sup> | 54,0 | 62,5 | <b>Média<br/>Temperatura</b>                                          | 1 <sup>a</sup> | 32,0 | 33,8 |
|                                                                       | 2 <sup>a</sup> | 56,0 | 65   |                                                                       | 2 <sup>a</sup> | 28,7 | 31,4 |
|                                                                       | 3 <sup>a</sup> | 56,0 | 65   |                                                                       | 3 <sup>a</sup> | 25,0 | 28,6 |
|                                                                       | 4 <sup>a</sup> | 54,0 | 63,8 |                                                                       | 4 <sup>a</sup> | 21,3 | 26,6 |
|                                                                       | 5 <sup>a</sup> | 54,0 | 65   |                                                                       | 5 <sup>a</sup> | 19,5 | 24,6 |
|                                                                       | 6 <sup>a</sup> | 54,0 | 65   |                                                                       | 6 <sup>a</sup> | 18,8 | 22,6 |

Em relação a temperatura do ar seco Moura et al. (2010) afirmam que o seu controle deve ser priorizado durante todas as fases de criação do animal sendo que cada fase apresenta valores específicos que devem ser garantidos por conta do mecanismo fisiológico do animal. Estes valores quando não respeitados provocam estresse térmico nos animais e alterações em sua resposta fisiológica como vasodilatação periférica com perda de calor não evaporativo, aumento de taxa respiratória com perda excessiva de dióxido de carbono, e aumento da pressão arterial (SILVA et al., 2015; GOMES et al., 2015; SOUZA et al., 2013). Além disso, Furlan (2006) afirma que existe diferença entre consumo de ração e água para o ganho de peso em pintainhos, de até sete dias, quando criados em temperaturas de 20-25°C em comparação com outros criados em temperaturas de 32-35°C. Assim, para um frango nas fases iniciais de sua vida, a temperatura recomendada deve ficar próximo de 32°C e diminuir gradativamente de dois em dois dias em 1°C até na terceira semana de criação estar em cerca de 20°C com variações de  $\pm 2^\circ\text{C}$ . Porém, existem variações que são toleradas pelo animal, por exemplo, um excesso de temperatura pode ser tolerado quando a umidade relativa é baixa, mas intolerável quando a umidade é alta porque provoca condensação dentro do aviário (MOURA, et al. 2010). Mickelberry et al., (1966) e Maxwell, Robertson (1998) afirmam que temperaturas quando superiores a 35°C, na fase inicial, podem produzir hipertermia nos pintainhos seguido por desidratação ocasionando em redução de consumo de ração e atraso no crescimento e que temperaturas muito baixas, ainda nesta fase, podem provocar casos de hipotermia com agravamento para a síndrome de hipertensão pulmonar (ascite) (Tabela 1).

### **3.2.1.2 Ambiência química**

As trocas de ar no aviário quando realizadas incorretamente provocam concentrações inadequadas de monóxido de carbono, dióxido de carbono e amônia diminuindo, assim, as concentrações de oxigênio e favorecendo a incidência de doenças pulmonares e genéticas (QI et al., 2023; DORNELAS et al., 2023; OLIVEIRA et al., 2020; OWADA et al., 2007). Isso é constatado pelo fato de o dióxido de carbono ser mais denso que o oxigênio permanecendo estável no nível das aves, dificultando sua respiração e aumentando os índices de mortalidade (ZHENG, et al., 2020; OLIVEIRA, et al., 2020). O monóxido de carbono também

causa efeitos semelhantes nos animais, sendo que Wathes (1999) recomenda o limite de 10 ppm para qualquer fase do animal (Tabela 2).

**Tabela 2.** Referências de gases no ar para frangos de corte.

| <b>Gás</b>                            | <b>Autores</b>        | <b>Referência</b>                          |
|---------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|
| Monóxido de Carbono (CO)              | Wathes (1999)         | máximo de 10 ppm                           |
|                                       | Jong, et al. (2012)   | entre 14 e 35 ppm                          |
|                                       | Cobb (2019)           | inferior a 10 ppm                          |
|                                       | HFCA (2013)           | entre 14 e 50 ppm                          |
|                                       | CIGR (1989)           | máximo de 10 ppm                           |
|                                       | Média                 | 16,09 ppm                                  |
| Amônia (NH <sub>3</sub> )             | AHA (2012)            | máximo de 25 ppm                           |
|                                       | Sampaio et al. (2005) | máximo de 20 ppm                           |
|                                       | Miragliotta (2005)    | máximo de 20 ppm                           |
|                                       | Campos (2015)         | máximo de 15 ppm                           |
|                                       | Cobb (2019)           | menor que 10 ppm                           |
|                                       | OWADA (2007)          | máximo de 5 ppm                            |
|                                       | Média                 | 15 ppm                                     |
| Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ) | Cobb (2019)           | menor que 3000 ppm                         |
|                                       | Ponciano et al (2011) | até 3000 ppm                               |
|                                       | Ross (2018)           | menor que 3000 ppm                         |
|                                       | HFAC (2009)           | até 3000 ppm e nunca superar 5000 ppm      |
|                                       | Média                 | 3000 ppm                                   |
| Poeira (PM 10)                        | Wang et al. (2023)    | entre 1000 a 1500 µg/m <sup>3</sup>        |
|                                       | Aarnink et al. (2009) | 1073 µg/m <sup>3</sup>                     |
|                                       | Winkel (2016)         | 1280 a 3362 µg/m <sup>3</sup>              |
|                                       | Média                 | variações de 1073 a 3362 µg/m <sup>3</sup> |

Os níveis de amônia estão relacionados com as variáveis: temperatura, umidade relativa, taxa de ventilação, dieta, teor de umidade e tipo de cama, densidade animal e idade das aves. Ela é produzida pela decomposição microbiana

de elementos existentes na cama (JONG et al., 2012) sendo que diversos autores (QI et al., 2023; DORNELAS et al., 2023; OLIVEIRA et al., 2020; JONG et al., 2012; AHA, 2012; OWADA, 2007) afirmam que concentrações acima de 5 ppm já podem causar problemas de saúde nos animais. Por exemplo, concentrações acima de 10 ppm causam lesões nos pulmões e de 50 a 75 ppm diminuem o peso corporal e duplicam a taxa de mortalidade (Tabela 2).

Níveis altos de dióxido de carbono podem causar efeitos negativos em pintainhos e frangos adultos como ofegação, anóxia, redução do consumo de ração e redução do crescimento (DORNELAS et al., 2023; OLIVEIRA et al., 2020; REECE et al., 1980). Além disso, favorecem o aumento de doenças respiratórias, alteram significativamente os índices produtivos das aves (Abreu, Abreu, 2011) e acima de 3500 ppm causam ascite (ROSS, 2018) (Tabela 2).

A poeira na composição do ar, associado aos demais gases, afeta diretamente o trato respiratório sendo veículo para transmissão de doenças por bactérias ou vírus. Como medição utiliza-se a unidade de micras PM (*Particulate Matter*) de até 10 micras. Ela é caracterizada como partículas sólidas (de diâmetro entre 1 e 150 micras [ $\mu$ ]) que uma vez suspensas no ar, mesmo parado, não se difundem (WANG, et al., 2023; WINKEL, et al., 2016; AARNINK et al., 2009; MIRAGLIOTTA, 2005). São produzidas por material sólido e ficam suspensas no ar sendo resultantes de um conjunto de elementos presentes dentro do aviário como restos de penas, escamas de pele, fezes, alimentos e principalmente da composição da cama (ANDRADE, 2017; JONG et al., 2012). A poeira é medida de acordo com sua granularidade sendo dividida em grupos de partículas inaláveis e respiráveis (HARTUNG, SEEDORF, 1999). Estas partículas podem ser medidas simplesmente como poeira inspirável ou de acordo com sua granularidade ( $PM < 10 \mu g/m^3$ ) sendo todas prejudiciais à saúde dos frangos e dos humanos.

Partículas menores que 10 micras são as de maior preocupação pois conseguem passar facilmente por nariz e garganta atingindo pulmões causando graves doenças respiratórias (RESENDE, 2007). Porém Winkel (2016) afirma que há incertezas sobre as taxas reais de emissão de Material Particulado (MP, *Particulate Matter* - PM em inglês) ou partículas inaláveis em aviários. Diversos estudos (WANG, et al., 2023; WINKEL, et al., 2016; ANDRADE, 2017; JONG, et al., 2012; AARNINK et al., 2009; NAAS, 2007; COLUMBIA, 1999) apresentam diferentes formas de mensurar a poeira dentro dos aviários, cada uma apresentando resultados

diferentes pois estão sempre em função do tipo do aviário, da qualidade do material cama, da umidade presente na cama, da temperatura e umidade do ar, do fluxo de ventilação do aviário, da idade dos frangos e da idade da cama (Tabela 2).

### 3.2.1.3 Ambiência física

A luminosidade afeta diretamente os índices produtivos como por exemplo baixos índices de luminosidade nas semanas finais (<5 lux) fazem os animais produzirem menores taxas de calor sensível (NAAS, 2007). A intensidade da luminosidade no aviário deve ser distribuída uniformemente em todo o aviário e alterações nas taxas de luminosidade podem afetar o crescimento do olho do animal, ocasionar em variações na temperatura do ar fazendo os animais se aglomerarem em regiões com menores índices de luminosidade (Faustino et al., 2021), aumento de lesões por pododermatite pois uma baixa intensidade luminosa pode diminuir a atividade locomotora do animal e acarretar na incidência de dermatites de contato e desordens locomotoras (CRISTO et al., 2017; SOUZA, MOLENTO 2015), reduzir atividades e comportamentos naturais, porém, principalmente impactar no ritmo fisiológico, pois a ave, passa a desperceber quando é dia ou noite (COBB, 2019; ROSS, 2018) (Tabela 3).

**Tabela 3.** Referências de luminosidade para frangos de corte

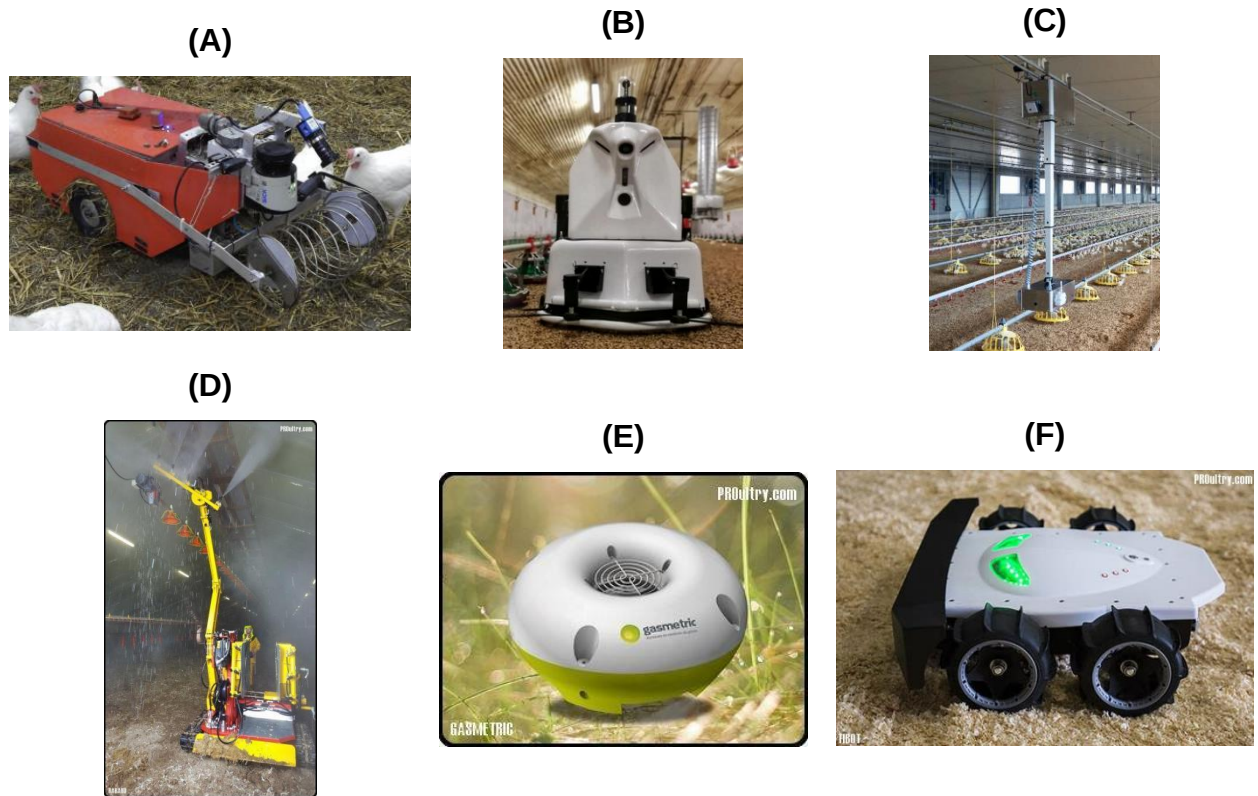
| <b>Autor</b>       | <b>Referência</b>                                                                    |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Figueira (2014)    | Mínimo de 20lux (durante toda a criação)                                             |
| Jong et al. (2012) | Mínimo de 10lux (durante as semanas iniciais)<br>Ideal de 20 lux (semanas seguintes) |
| Cobb (2019)        | 25lux (na altura da ave)<br>5-10 lux (2ª semana em diante)                           |
| Oliveira (2016)    | 20 lux (primeira semana)<br>10 lux (semanas seguintes)                               |
| Ross (2018)        | 30-40 lux na primeira semana<br>5-10 lux nas seguintes                               |
| Moda               | Primeira semana: mínimo 20 lux<br>Semanas subsequentes: 5 -10lux                     |

### 3.2.2 Robótica na avicultura industrial

O atual cenário de desenvolvimento tecnológico favorece a aplicação da robótica devido ao desenvolvimento de produtos de Tecnologia da Informação (hardware e software) que são facilmente adaptáveis a diversas condições de uso (RAJA, 2024; VROEGINDEWEIJ et al, 2018; REN et. al, 2018). Desta forma, diversas pesquisas estão sendo realizadas para auxiliar a produção agropecuária como robôs móveis, veículos autônomos, drones, braços robóticos, etc. (ZHANG, 2024; YANG et al., 2023; XIE, 2022).

Especificamente, exemplos da aplicação da automação aviária aplicáveis à robótica são: monitoramento ambiental (REN et. Al, 2020; GASMETRIC, 2016), comportamento animal e sanidade (CHEN et al., 2023; KIM et al., 2021; YANG et al., 2021), colheita de ovos (FEI et al., 2023; LI et al., 2021), incentivos a movimentação dos animais (Poultry Patrol, 2019), sanitização de camas, bebedouros e comedouros (LIN et al., 2023; FENG; WANG 2020; REN et al., 2020; VROEGINDEWEIJ et al, 2018), dentre outras.

O uso de robôs que atuam na avicultura de corte são referenciados pelos autores: Vroegindeweij et al. (2018) desenvolveram um robô autônomo (denominado PoultryBot – Figura 1A) com a capacidade de locomover por um aviário realizando a atividade de coleta de ovos; Ren et. al (2020) apresentaram dois robôs que são utilizados comercialmente na produção avícola: OctopusRobot (Figura 1B), para inspeção de saúde e bem-estar de galinhas, e ChickenBoy (Figura 1C), um robô suspenso capaz de inspecionar continuamente condições de saúde e bem estar dos animais; a empresa Rabaud desenvolveu o Lavicole (Figura 1D), um robô especializado em limpeza e desinfecção de aviários (Lavicole Robot, 2020); a empresa Gasmetric produziu um robô de mesmo nome (Figura 1E) que é capaz de realizar medições de gases nocivos em aviários (Gasmetric, 2016); e a empresa Tibot Technologies desenvolveu o Spoutnic Nav (Figura 1F) com as funções de estimular a movimentação das aves e revolver (misturar, remexer) a cama (Spoutnic Nav, 2016).



**Figura 1.** Robôs utilizados na avicultura: PoultryBot (A), OctopusRobot (B), ChickenBoy (C), Lavicole (D), Gasmetric (E) e Spoutnic Nav (Fonte: Gasmetric, 2016; Spoutinc, 2016 Vroegindeweij et al., 2018; Ren et al., 2020; Lavicole Robot, 2020).

As documentações que detalham os robôs muitas vezes são pouco expressivas. Dos seis robôs citados na Figura 1 apenas três possuem sites que detalham os seus funcionamentos e funcionalidades. A Tabela 4 apresenta o detalhamento das funcionalidades destes robôs de forma comparativa.

**Tabela 4.** Funcionalidades e detalhamento da arquitetura dos robôs de avicultura.

| <b>Robô x Funcionalidade</b>       | <b>ChickenBoy<br/>(Faromatics)</b> | <b>Octopus Poultry<br/>Safe<br/>(Octopus Robots)</b> | <b>SPOUTNIC<br/>(Tibot<br/>Technologies)</b> |
|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Formato                            | Suspense                           | Terrestre                                            | Terrestre                                    |
| Movimentação autônoma              | Sim                                | Sim                                                  | Sim (pode ser programável)                   |
| Movimentação assistida             | Não                                | Sim                                                  | Não                                          |
| Movimentação por beacon            | Não                                | Não                                                  | Sim                                          |
| Trata estresse por movimentação    | Não<br>(suspense)                  | Sim                                                  | Sim                                          |
| Tratamento colisão                 | Não<br>(suspense)                  | Sim (afastar os animais)                             | Sim (para objetos imóveis)                   |
| Programação de trajeto             | Sim                                | Sim                                                  | Sim                                          |
| Recarregável (autônomo)            | Sim                                | Sim                                                  | Não                                          |
| Emite estímulos sonoros /luminosos | Não                                | Não                                                  | Sim                                          |
| Localiza sozinho fonte de carga    | Não                                | Sim                                                  | Não                                          |
| Análise em 3 dimensões (x,y,z)     | Sim                                | Não                                                  | Não                                          |
| Visão (visível)                    | Sim                                | Não                                                  | Não                                          |
| Visão (térmica)                    | Sim                                | Não                                                  | Não                                          |
| Streaming de vídeo                 | Sim                                | Não                                                  | Não                                          |
| Detecta presença de pessoas        | Sim                                | Não                                                  | Não                                          |
| Análise de Som (vocalização)       | Sim                                | Não                                                  | Não                                          |
| Análise de Som (saída)             | Sim                                | Não                                                  | Não                                          |
| Streamning de áudio                | Sim                                | Não                                                  | Não                                          |
| Cond. Ambientais: Temperatura      | Sim                                | Sim                                                  | Não                                          |
| Cond. Ambientais: Umd. Relativa    | Sim                                | Sim                                                  | Não                                          |
| Cond. Ambientais: Dióxido de       | Sim                                | Sim                                                  | Não                                          |

carbono - CO<sub>2</sub>

Continuação Tabela 4

| <b>Robô x Funcionalidade</b>               | <b>ChickenBoy<br/>(Faromatics)</b> | <b>Octopus Poultry<br/>Safe<br/>(Octopus Robots)</b> | <b>SPOUTNIC<br/>(Tibot<br/>Technologies)</b> |
|--------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Cond. Ambientais: velocidade do ar         | Sim                                | Não                                                  | Não                                          |
| Detecta ruídos (barulho)                   | Não                                | Sim                                                  | Não                                          |
| Detecta intensidade luminossidade          | Não                                | Sim                                                  | Não                                          |
| Detecta anomalias de saúde                 | Sim                                | Não                                                  | Não                                          |
| Detecta aves mortas                        | Sim                                | Não                                                  | Não                                          |
| Anomalias em equipamentos do aviário       | Sim                                | Não                                                  | Não                                          |
| Deteção de anomalias na cama               | Sim                                | Não                                                  | Não                                          |
| Tratamento da cama (escarificador)         | Não                                | Sim                                                  | Não                                          |
| Sanitização do ambiente (aerosol)          | Não                                | Sim                                                  | Não                                          |
| Difusor de vacinas (aerosol)               | Não                                | Sim                                                  | Não                                          |
| Slots de extensão                          | Sim                                | Sim                                                  | Sim                                          |
| Dados criptografados                       | Sim                                | Não                                                  | Não                                          |
| Alerta por SMS                             | Sim                                | Sim                                                  | Não                                          |
| Utiliza Wi-Fi (acesso internet tempo real) | Sim                                | Sim                                                  | Sim                                          |
| Sistema Web Monitoramento                  | Sim                                | Não                                                  | Não                                          |
| Utiliza Inteligência Artificial            | Sim                                | Sim                                                  | Não                                          |
| Modularizável                              | Não                                | Sim                                                  | Sim                                          |

De acordo com a Tabela 4 pode-se verificar que o robô ChickenBoy possui um grande potencial em relação a condições ambientais, anomalias nos equipamentos e nos frangos, alertas em tempo real e IA envolvida; o robô Octopus Poultry Safe trabalha, basicamente, para movimentar a cama com o objetivo de

reduzir a saturação de amônia e sanitizar o ambiente por meio de pulverizações no ar com sanitizantes e com isso reduz drasticamente a incidência de doenças no ambiente produtivo, por fim, o robô Spoutinic atua para incentivar as galinhas a se movimentarem quando estiverem fora do ninho evitando que coloquem ovos no chão, mas apenas no ninho.

As pesquisas recentes com o uso da robótica na produção animal (CHEN et al., 2023; FEI et al., 2023; LIN et al., 2023) mostram as inúmeras possibilidades que podem ser exploradas. Na avicultura especificamente isso tem sido possibilitado e intensificado em função do avanço tecnológico da cadeia e por conta do aumento da procura pelo consumo de uma proteína barata e de rápida produção. As perspectivas são de que a robótica seja cada vez mais ampliada diminuindo as intervenções humanas em atividades físicas e tendo maior precisão sobre os indicadores produtivos por meio de avaliações eficazes baseadas nos dados em tempo real monitorados pelos robôs. Neste ponto, o Brasil apesar de ser um dos maiores produtores de proteína animal ainda apresenta uma forte dependência tecnológica para obter recursos informatizados que auxiliem no processo produtivo. Isso causa um alto custo para implantação de ferramentas automatizadas por conta da importação de tecnologias. Entretanto, o país precisa desenvolver sua própria tecnologia para favorecer a redução de custos e, consequentemente, se posicionar na produção de soluções que possam favorecer a cadeia produtiva no aumento das taxas produtivas sem necessariamente aumentar a área de produção, mas analisando e compreendendo como reduzir as perdas no processo produtivo atual.

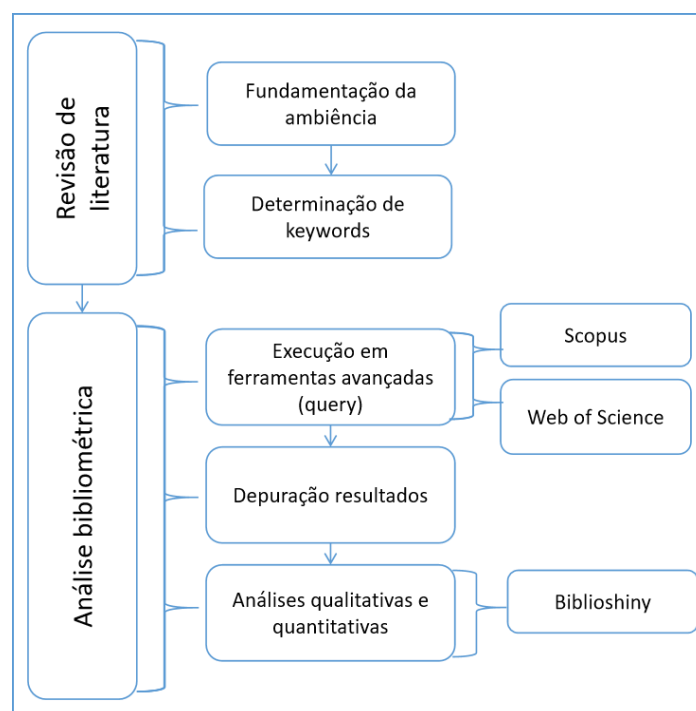
### **3.4. Materiais e Métodos - Revisão Bibliométrica**

A proposta metodológica para este estudo foi conduzir um levantamento por meio da combinação de duas abordagens (REJEB et al. 2022, COLOMBINO, et al. 2021):

- a) Revisão de literatura: obtenção da fundamentação da ambiência para frangos de corte e a definição de um conjunto de palavras chaves que relacionem os frangos, com a ambiência e a robótica; e
- b) Análise bibliométrica: analisar e quantificar os resultados das pesquisas de modo a avaliar a evolução da robótica na avicultura de corte.

A combinação destas duas abordagens objetivou fundamentar o estado da arte da ambiência na produção de frango de corte e gerar uma relação de artigos que possibilitaram a elaboração de um conjunto de palavras chaves (*Keywords*) divididas em dois domínios: sistema produtivo de frangos de corte e tecnologias de robótica; o primeiro objetivou a criação de um conjunto de termos comuns às publicações científicas e o segundo a robótica associada às tecnologias que dão suporte à aplicação direta na produção de frangos de corte. A união destes domínios criou restrições que possibilitaram encontrar artigos de pesquisas exclusivas de robótica e frangos de corte.

As *Keywords* escolhidas foram utilizadas nas ferramentas avançadas de busca da *Scopus* e da *Web Of Science*. Utilizou-se a notação técnica (sintaxe) de cada ferramenta e foi adotada a lógica booleana como estrutura algébrica para refinar buscas (queries) por meio dos seus operadores lógicos. Os resultados foram extraídos no formato *Comma Separated Values* (CSV) e foram escolhidos todos os metadados existentes como filtro de resposta para os registros. Em seguida os dois resultados (*Scopus* e *Web of Science*) foram agrupados e depurados para exclusão de redundâncias e duplicadas por meio da linguagem de programação R no ambiente R Studio (versão 2023.12.1 Build 402). As análises quantitativas e qualitativas foram realizadas no pacote *Biblio Shiny* por meio do *R Studio*. A Figura 2 apresenta um resumo gráfico da metodologia.



**Figura 2.** Resumo gráfico da metodologia do trabalho.

### 3.4.1 Revisão de literatura

A revisão de literatura foi determinada com o seguinte questionamento: “Como a robótica tem sido utilizada na avicultura de corte como ferramenta de apoio à ambiência?” e isso permitiu identificar um conjunto de artigos que obrigatoriamente tivessem em seu título ou resumo as palavras “*poult\**”, “*robo\**” e “(*ambience or ambient*) and “*poultry farm\**” não importando se abrangesse outros animais de produção ou se a avicultura se referisse a produção de carne ou ovos. A partir disso, foram catalogadas todas as *keywords* destes artigos para execução na etapa posterior.

### 3.4.2 Determinação das “*Keywords*”

Um conjunto de keywords foi elaborado baseado em premissas de palavras de domínio e tecnológica. Domínio são *keywords* resultantes do contexto do sistema produtivo e tecnológica resultantes das possibilidades de tecnologia da informação que podem ser aplicadas ao sistema produtivo. O método para determinação destas palavras-chaves a partir da leitura das palavras-chaves dos artigos obtidos na revisão de literatura e a técnica de refinamento sucessivo determinou uma listagem como resultado final das palavras úteis para a pesquisa bibliográfica.

### 3.4.3 Banco de dados

Dois bancos de dados de resumos e citações de artigos para jornais e revistas acadêmicos foram escolhidos: *Scopus* e *Web of Science*. A determinação da escolha destes dois bancos de dados baseou-se no fato de ambos possuírem um alto nível de abrangência de pesquisas e uma combinação dos resultados que determina informações que podem ser complementares, equivalentes ou excludentes. Duas “*queries*” foram executadas de forma idêntica, mas em sintaxe específica, em cada banco de dados. Os resultados foram agrupados e analisados na linguagem R para determinação de resultados redundantes na intenção de eliminar duplicadas. Isso possibilitou a realização de um tratamento nos dados obtidos, excluindo-se os resultados replicados, mantendo assim, uma integridade de informações que se auto completam por meio destes bancos de dados.

#### 3.4.4 Análises qualitativas e quantitativas

Os resultados foram analisados de acordo com a expressividade e temporalidade das “Keywords”. Desta forma objetivou-se analisar a frequência, impacto e importância da “Keywords” no contexto da avicultura de corte.

### 3.5 Resultados

A revisão bibliográfica foi executada na plataforma de pesquisa Google Acadêmico com a utilização da query: (“*poult\**” OR “*chicken broiler*”) AND (“*robo\**”) AND ((“*ambience poultry farm*”) OR (“*ambient poultry farm*”)) e foram utilizados resultados dos últimos 10 anos (2014-2024). O resultado apresentou 181 artigos que foram analisados os títulos e resumos e foram excluídos 24 artigos por não terem aprofundamento na robótica (ANEXO A). Dos 157 artigos resultantes, foram analisadas as keywords e uma lista foi gerada baseada em dois domínios: tecnologias de robótica e sistema produtivo de frangos de corte. Os resultados são apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5.** Palavras chaves de domínio de negócio (produção de frangos de corte)

| <b>Tecnologias de robótica</b>     | <b>Sistema produtivo de frangos de corte</b> |
|------------------------------------|----------------------------------------------|
| <i>Artificial Intelligence</i>     | <i>fowl</i>                                  |
| <i>Agricultural robotics</i>       | <i>frango</i>                                |
| <i>Automation</i>                  | <i>poult</i>                                 |
| <i>Decision suport</i>             | <i>poultry</i>                               |
| <i>Industrial robots</i>           | <i>Aviary</i>                                |
| <i>Intelligent Analysis</i>        | <i>aviary poultry house</i>                  |
| <i>Precision feeding system</i>    | <i>Poultry houses</i>                        |
| <i>System integration</i>          | <i>Poultry housing</i>                       |
| <i>Technology</i>                  | <i>welfare</i>                               |
| <i>automatic sensing</i>           | <i>Precision livestock farming</i>           |
| <i>automation trends</i>           | <i>Smart poultry management</i>              |
| <i>machine capabilities</i>        | <i>unmanned poultry houses</i>               |
| <i>technology adoption</i>         | <i>poultry production operations</i>         |
| <i>Technology Focussed</i>         | <i>Poultry production systems</i>            |
| <i>remote monitoring</i>           | <i>Poultry Sector</i>                        |
| <i>autonomous robot navigation</i> | <i>Stress detection</i>                      |
| <i>Internet of Things</i>          | <i>health and welfare</i>                    |
| <i>IOT</i>                         | <i>Livestock Breeding</i>                    |
| <i>Mobile monitoring</i>           | <i>livestock production</i>                  |
| <i>Mobile robotics</i>             | <i>environmental impact</i>                  |
| <i>Robô</i>                        | <i>Automation of poultry farm</i>            |
| <i>Robot</i>                       | <i>Controlled environment</i>                |
| <i>Robotics</i>                    | <i>Improving Bird Welfare</i>                |
| <i>Sensor</i>                      | <i>Improving Poultry Welfare</i>             |
| <i>smart broiler robot</i>         | <i>smart agriculture</i>                     |
| <i>Smart sensors</i>               | <i>Electronic Chickens</i>                   |
| <i>Camera</i>                      | <i>Robot for Livestock Breeding</i>          |
| <i>Control chart</i>               | <i>Robotics in agriculture</i>               |
| <i>image analysis</i>              | <i>broiler chicken</i>                       |

O conjunto de “Keywords” foi analisado e percebeu-se que muitas das palavras eram conceitos guarda-chuva tanto para o sistema produtivo quanto para tecnologia da informação. Desta forma, as “Keywords” foram agrupadas de forma hierárquica do conceito mais amplo para o mais especialista (Tabela 6).

**Tabela 6.** Hierarquização das keywords.

| Tecnologias de robótica     |                          | Sistema produtivo de frangos de corte |                               |
|-----------------------------|--------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| Technology                  |                          |                                       |                               |
| Automation                  |                          |                                       |                               |
| Robô                        | Artificial Intelligence  | frango                                | Precision livestock farming   |
| agricultural robotics       | intelligent analysis     | fowl                                  | smart poultry management      |
| industrial robots           | decision suport          | poult                                 | unmanned poultry houses       |
| automatic sensing           | precision feeding system | poultry                               | poultry production operations |
| automation trends           | system integration       | aviary                                | stress detection              |
| machine capabilities        |                          | aviary poultry house                  | health and welfare            |
| remote monitoring           |                          | poultry houses                        | Livestock Breeding            |
| robot robotics              |                          | poultry housing                       | livestock production          |
| technology adoption         |                          | welfare                               | environmental impact          |
| technology focussed         |                          | poultry production systems            | automation of poultry farm    |
| autonomous robot navigation |                          | poultry Sector                        | controlled environment        |
| Internet of Things          |                          | broiler chicken                       | improving Bird Welfare        |
| IOT                         |                          |                                       | improving Poultry Welfare     |
| mobile monitoring           |                          |                                       | smart agriculture             |
| mobile robotics             |                          |                                       | electronic Chickens           |
| robô                        |                          |                                       | robot for livestock breeding  |
| robot robotics              |                          |                                       | robotics in agriculture       |
| sensor                      |                          |                                       |                               |
| smart broiler               |                          |                                       |                               |
| robot                       |                          |                                       |                               |
| smart sensors               |                          |                                       |                               |
| camera                      |                          |                                       |                               |

A hierarquização permitiu compreender quais “Keywords” eram repetidas ou tinham variações e que poderiam ser concatenadas em uma única palavra. Nas tecnologias da robótica percebeu-se que robo (*robotic, robot, robots, robô, autonomous robot navigation, mobile robotics*, etc) era a palavra mais frequente e que muitos outros termos eram dependentes dessa keyword (como por exemplo sensor sempre aparecia quando tinha robo); em sistemas produtivos de frango de corte percebeu-se que a palavra *poultry* (*poult, poultry production, aviary poultry*, etc) era a mais frequente e os outros termos geralmente eram dependentes dela (p.ex. “*smart agriculture*” deveria ter a palavra “*poultry*” para determinar o sistema produtivo de frangos de corte). Além disso, as áreas de busca foram determinadas (*Computer Science, Agricultural and Biological Sciences, Engineering, Environmental Science, Science Technology Other Topics, Robotics or Automation Control Systems*) e keywords que delimitassem exclusivamente a área produtiva de frangos de corte foram incluídas por meio da cláusula NOT (ex. NOT TITLE-ABS-KEY (*beef AND cow*)). Por fim, utilizando-se das ferramentas avançadas de busca as “queries” foram elaboradas e o período de busca foi determinado a partir de 2014 até 2024:

- 1 Scopus: (TITLE-ABS-KEY (*robo\**) AND TITLE-ABS-KEY (*poult\* OR "broiler chicken"*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*beef AND cow*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*dairy AND cow*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*pork*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*fish*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*hens*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*hen*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*ovo*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*egg\**) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*pig*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*cattle*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*breast*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*"cutting industry"*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*"multiconference"*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*conference*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*"La Plata"*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*"gene"*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*gizzerosine*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*evisceration*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*captain*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*litter*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*fluorescence*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*biochar*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*vegetation*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*dissection*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*antibiotic\**) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*multiresidue*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*"renewable energy"*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*penoxsulam*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*proteomics*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*digestion*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*"passive cooling"*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*electricity*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*smallholder*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*nanotubes*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*pyrolysis*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*pollution*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*beans*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*dydrolysis*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*fertili\**) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*reared*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (*molecular*) AND NOT TITLE-

- ABS-KEY (wastewater) AND NOT TITLE-ABS-KEY (carinata) AND NOT TITLE-ABS-KEY ("agricultural organic") AND NOT TITLE-ABS-KEY (nanoparticles) AND NOT TITLE-ABS-KEY ("Gel 95") AND NOT TITLE-ABS-KEY (jimny\*) AND NOT TITLE-ABS-KEY (organic) AND NOT TITLE-ABS-KEY (recall) AND NOT TITLE-ABS-KEY (cilacap)) AND PUBYEAR > 2014 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA,"ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"COMP") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"MATH"))
- 2 Web of Science: ALL=(robo\*) AND ALL=(poult\* OR "broiler chicken" or "fowl") NOT ALL=(beef AND cow) NOT ALL=(dairy AND cow) NOT ALL=(pork) NOT ALL=(fish) NOT ALL=(pig) NOT ALL=(hens) NOT ALL=(hen) NOT ALL=(cattle) NOT ALL=(ovo) NOT ALL=(egg\*) NOT ALL=(pig) NOT ALL=(cattle) NOT ALL=(breast) NOT ALL=("cutting industry") NOT ALL=("multiconference") NOT ALL=(conference) NOT ALL=("La Plata") NOT ALL=("gene") NOT ALL=(gizzerosine) NOT ALL=(evisceration) NOT ALL=(captain) NOT ALL=(litter) NOT ALL=(fluorescence) NOT ALL=(biochar) NOT ALL=(vegetation) NOT ALL=(dissection) NOT ALL=(antibiotic\*) NOT ALL=(multiresidue) NOT ALL=("renewable energy") NOT ALL=(penoxsulam) NOT ALL=(proteomics) NOT ALL=(digestion) NOT ALL=("passive cooling") NOT ALL=(electricity) NOT ALL=(smallholder) NOT ALL=(nanotubes) NOT ALL=(pyrolysis) NOT ALL=(pollution) NOT ALL=(beans) NOT ALL=(dydrolysis) NOT ALL=(ferti\*) NOT ALL=(reared) NOT ALL=(molecular) NOT ALL=(wastewater) NOT ALL=(carinata) NOT ALL=("agricultural organic") NOT ALL=(nanoparticles) NOT ALL=("Gel 95") NOT ALL=(jimny\*) NOT ALL=(organic) NOT ALL=(recall) NOT ALL=(cilacap) AND (publication date > 2014-01-01) AND Refined By: Research Areas: Agriculture or Engineering or Computer Science or Science Technology Other Topics or Robotics or Automation Control Systems

O banco de dados Scopus retornou 69 documentos e o *Web of Science* 31; uma análise de duplicidade foi realizada na linguagem de programação R por meio do pacote *mergeDbSources* e resultou na exclusão de 10 artigos; no período (2014-2024) houve uma taxa de crescimento de publicações de 31,8%; uma média de 3,81 publicações por ano; e um total de 359 autores relacionados (Figura 3). Utilizando o pacote *biblioAnalysis* (linguagem R) diversas métricas puderam ser analisadas. Os tipos de documento predominantes encontrados foram artigos de conferências (48,89%) seguidos de artigos completos (41,11%) (Tabela 7).

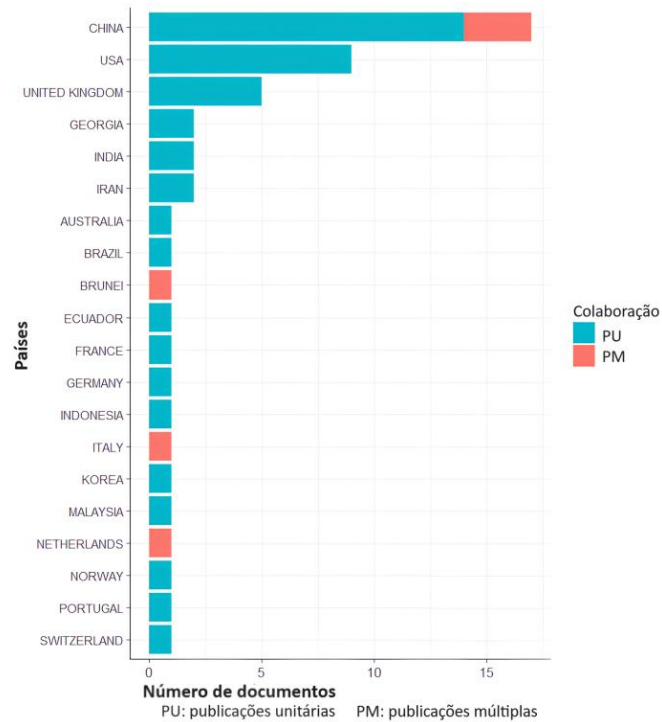


**Figura 3.** Resumo dos resultados obtidos por meio do pacote *biblioAnalysis*.

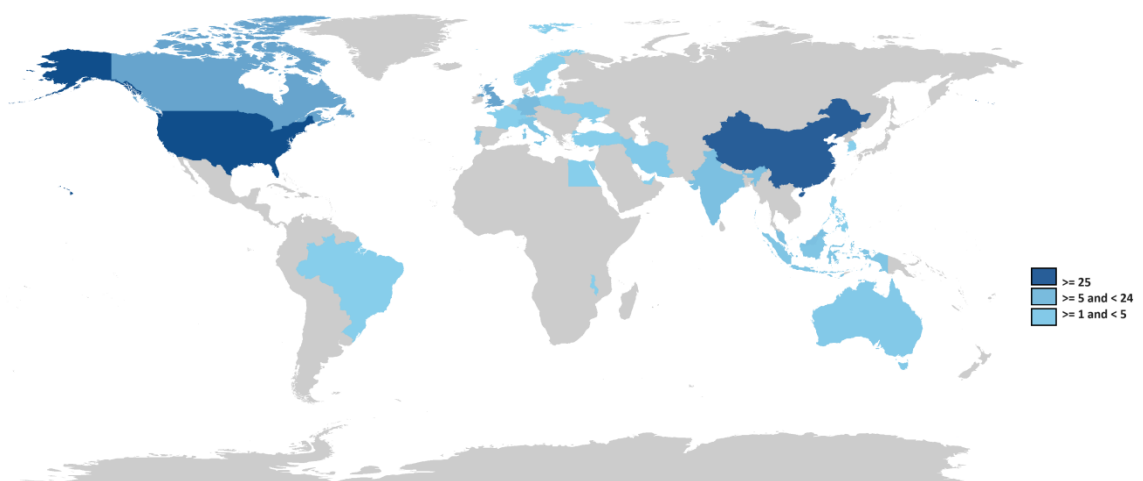
**Tabela 7.** Artigos encontrados e seus tipos quantificados

| Tipo                     | Quantidade |
|--------------------------|------------|
| <i>article</i>           | 37         |
| <i>book chapter</i>      | 2          |
| <i>conference paper</i>  | 44         |
| <i>meeting abstract</i>  | 2          |
| <i>proceedings paper</i> | 2          |
| <i>review</i>            | 3          |

A maior parte das publicações foram realizadas na China (17 artigos, 32%), seguido por Estados Unidos (9 artigos, 17%) e Reino Unido (5 artigos, 9%) (Figura 4 e 5).

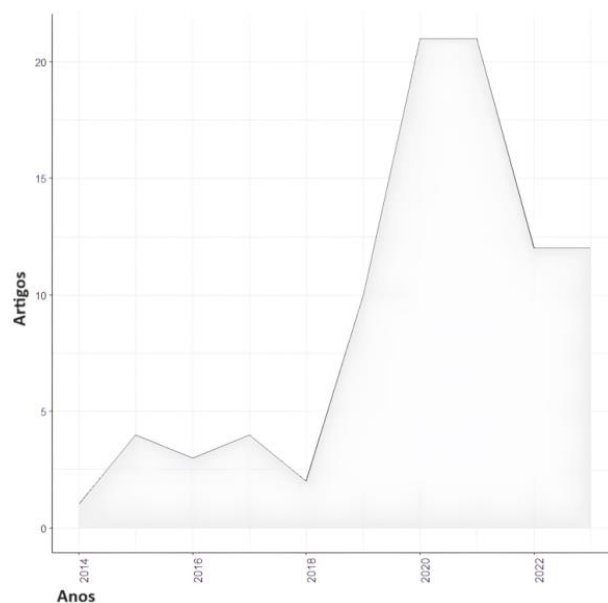


**Figura 4.** Produção científica por países



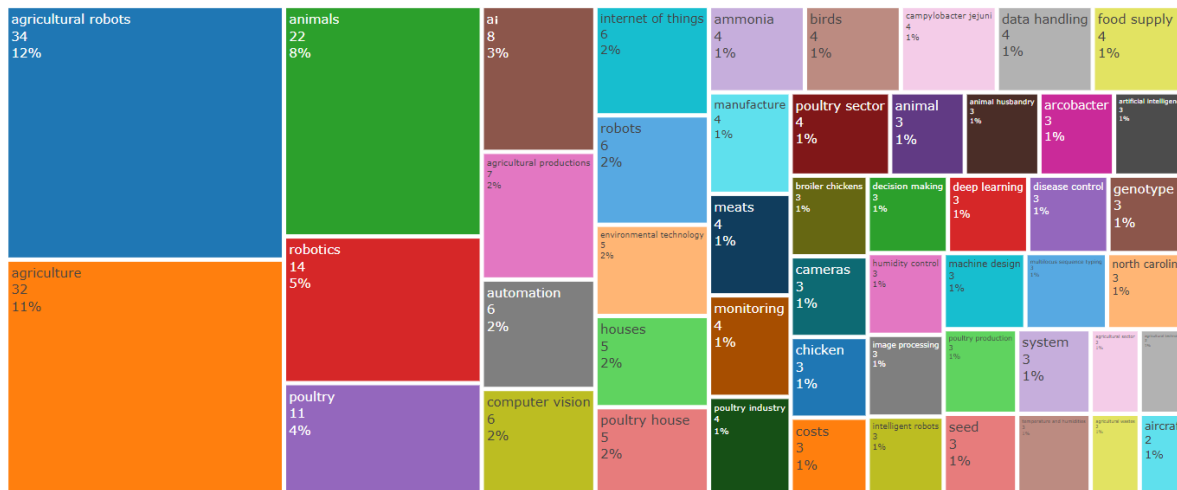
**Figura 5.** Distribuição geográfica das publicações por países

Grande parte das publicações foram realizadas recentemente (últimos cinco anos) sendo que entre 2014 e 2018 foram publicados apenas 14 trabalhos e entre 2019 e 2024 foram publicados 76 (um aumento de 442,86%) (Figura 6).



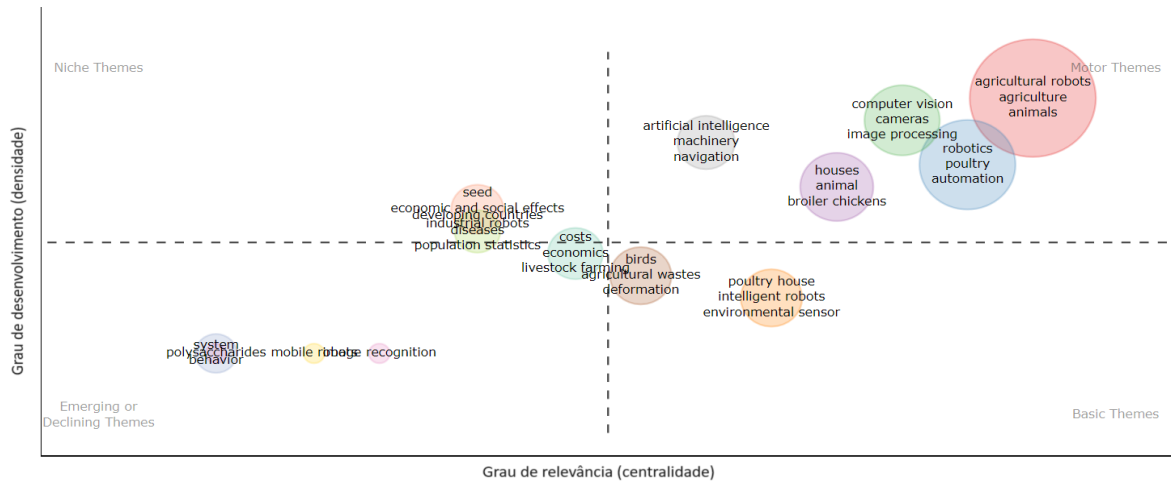
**Figura 6.** Publicações por ano, fluxo temporal de publicações na temática escolhida.

Os artigos relacionaram diversas palavras chaves sendo as mais referenciadas: *agricultural robots*, *agriculture*, *animals*, *robotics* e *poultry* (Figura 7).



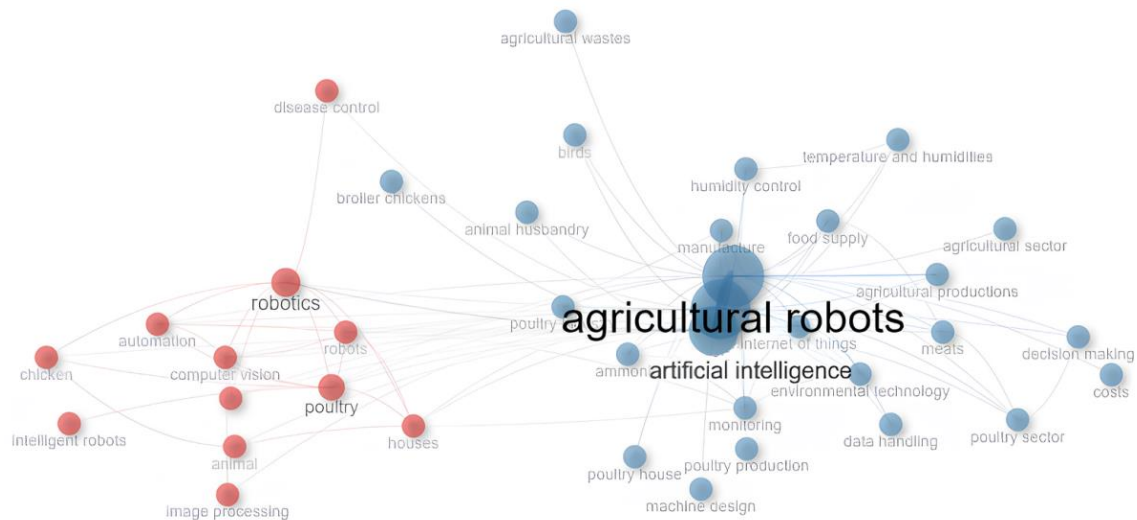
**Figura 7.** Keywords mais referenciadas nos artigos.

Os temas principais que norteiam a maioria das pesquisas são: *agricultural robots*, *agriculture* e *animals*. Na sequência as demais pesquisas se utilizam de tecnologias como visão computacional (câmera e processamento de imagens), inteligência artificial (máquina e navegação) e os temas mais importantes são: reconhecimento de padrões, aplicações móveis e comportamento dos animais (Figura 8).



**Figura 8.** Distribuição por tendência das pesquisas.

A Figura 9 apresenta a distribuição de como as pesquisas com robótica são organizadas na produção aviária. Compreende-se que o termo *agricultural robots* é abrangente ao termo *animals* e associado a ela está o termo *poultry*. A partir desse termo as pesquisas de termos *robotics* são construídas e as ferramentas tecnológicas são utilizadas, sendo as principais: *artificial intelligence*, *computer vision* e *internet of things*.



**Figura 9.** Aglomeração das pesquisas por similaridade

### 3.6 Discussões

Compreender os pontos falhos da avicultura de corte e ao mesmo tempo agregar valor (aumentar a lucratividade por meio da diminuição das perdas) é

uma das principais motivações a utilização de tecnologias nos sistemas produtivos. Autores como Melak et al. (2024), Abreu et al. (2020) e Mansilha et al. (2019) complementam afirmando que as tecnologias podem apontar as deficiências produtivas permitindo a compreensão das perdas.

A robótica é uma destas tecnologias e atualmente se encontra presente na produção de frangos por meio de diversos robôs (REN et al., 2020; Lavicole Robot, 2020; VROEGINDEWEIJ et al., 2018; GASMETRIC 2016; SPOUTINC 2016). Estes robôs conseguem realizar atividades de manejo e monitoramento, mas ainda não possuem desenvolvida todas as suas capacidades de alto desempenho, pois ainda, possuem limitações como relatam diversos autores na capacidade de comunicação de alto desempenho (REN et al., 2020).

As pesquisas têm evoluído neste sentido a fim de atenderem estas capacidades e Raja (2024) afirma que os robôs comerciais que atuam nos aviários possuem características tecnológicas e de funcionamento diferentes. Os três robôs (ChickenBoy, Octopus Poultry Safe e SPOUTNIC) analisados apontaram estas diferenças sobre vários aspectos (envolvendo suas funcionalidades).

A ambiência animal incorpora fatores do ambiente térmico que influenciam diretamente na avicultura de corte e que necessita de atenção devido a criticidade no sistema produtivo. Devido a esta criticidade, os robôs atuais não possuem uma arquitetura única ou padronizada. Cada ambiente produtivo exige uma configuração específica de robôs (RAJA, 2024) os quais necessitam de adequação ao tipo de trabalho a ser executado de forma a tornar mais preciso a obtenção dos dados ambientais e, conseqüentemente, uma tomada de decisão assertiva.

Sensores são utilizados para detectar os níveis das variáveis ambientais e compreender quais são os limites mínimos e máximos, durante o ciclo completo da criação, são fundamentais. Diversos autores (MELAK et al., 2024; LI et al., 2023) divergem em vários pontos sobre a variabilidade existente entre as variáveis sendo que valores próximos ou longos são apresentados, sendo por isso, importante compreender quais são os valores ideais para todo o sistema produtivo (incluindo a variabilidade semanal) e também a linhagem utilizada na cadeia de produção.

A análise bibliométrica possibilitou selecionar e compreender as principais tecnologias publicadas que são utilizadas na robótica da avicultura de

corte. Os artigos descrevem como a robótica está diretamente associada com a automação no ambiente de frangos de corte apresentam a visão computacional como a mais frequente tecnologia; artigos mais generalistas, que descrevem a avicultura de corte associada ao sistema produtivo, ao gerenciamento do aviário e ao próprio setor produtivo, apresentam como principais tecnologias associadas a robótica a inteligência artificial e a internet das coisas. Isso corrobora com autores como Xiang, Wang (2023) e Tang (2023) que afirmam que a utilização da visão computacional vai além das perspectivas incluindo modelagem de técnicas de visão tridimensional (3D) associadas com modelos de inteligência artificial de aprendizagem profunda. Portanto, as perspectivas são de que as modelagens por visão computacional incluam nos trabalhos futuros técnicas de iluminação estrutural 3D com utilização de sistemas de detecção de alcance e iluminação com tecnologias como o LiDAR (*Light Detection and Ranging*) e profundidade monocular.

### 3.7 Conclusões

A robótica na avicultura de corte, apesar de apresentar implementações tecnológicas comerciais, ainda demonstra pontos desafiadores que precisam de evolução e desenvolvimento, especialmente na comunicação de alto desempenho. Entende-se que a ambiência na avicultura ainda é um fator crítico e a robótica pode atuar neste ponto, mas a comunicação de alto desempenho deve ser aprimorada para aprimoramento das tomadas de decisões assertivas em relação a monitoração em tempo real dos aviários. Além disso, a maturidade das tecnologias (sensores, atuadores e softwares) abriu novas possibilidades de pesquisa na robótica e o resultado são as tendências de pesquisas atuais apontando para o uso da visão computacional e também da inteligência artificial e da internet das coisas. O monitoramento da ambiência entra como uma das pesquisas possíveis de robótica na produção de frangos de corte, mas não é priorizada entre os robôs atuais (pesquisas de técnicas de manejo são mais encontradas). Conclui-se também que os países que possuem maior desempenho de produção tecnológica conseguem realizar maior quantidade de pesquisas em robótica (como China e Estados Unidos). Por fim, compreende-se que este artigo pode servir como um status da robótica na avicultura de frangos de corte comercial e como base literária para pesquisas em monitoramento de ambiência na avicultura.

## Referências

- AARNINK, A.J.A.; LE, P.D.; JONGBLOED, A.W.. Odour and ammonia emission from pig manure as affected by dietary crude protein level. *Livestock Science*, [S.L.], v. 121, n. 2-3, p. 267-274, abr. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2008.06.021>.
- ABREU, L. H. P.; YANAGI JUNIOR, T.; BAHUTI, M.; JULIO, Y. F. Hernández; FERRAZ, P. F. P. Artificial Neural Networks for prediction of Physiological and Productive Variables of Broilers. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 40, n. 1, p. 1-9, 1 jan. 2020. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v40n1p1-9/2020>.
- ABREU, P. G.; ABREU, V. M. N. Conforto térmico para aves. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. 5p. (Comunicado Técnico).
- AHA. American Humane Association Farm Animal Program. Animal Welfare Standards for Broiler Chickens. Washington, 2012, p. 136.
- AHMED, Mohammed Mostafa; HASSANIEN, Ehab Ezat; HASSANIEN, Aboul Ella. A smart IoT-based monitoring system in poultry farms using chicken behavioural analysis. *Internet Of Things*, [S.L.], v. 25, p. 101010, abr. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.iot.2023.101010>.
- ANDRADE, Cíntia Ribeiro. Desenvolvimento de um método para detecção e análise de poeira utilizando processamento de imagens. 2017. 88 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.
- BUI, Hang Thanh; ABOUTORAB, Hamed; MAHBOUBI, Arash; GAO, Yansong; SULTAN, Nazatul Haque; CHAUHAN, Aufeef; PARVEZ, Mohammad Zavid; BEWONG, Michael; ISLAM, Rafiqul; ISLAM, Zahid. Agriculture 4.0 and beyond: evaluating cyber threat intelligence sources and techniques in smart farming ecosystems. *Computers & Security*, [S.L.], v. 140, p. 103754, maio 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cose.2024.103754>.
- CAMPOS, E.J.O comportamento das aves. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, Campinas, v.2, n.2, p.93-113, 2000.
- CHEN, Changxi; YU, Xinwei Yu Xinwei; YU, Liji Yu Liji; XUE, Shanshan Xue Shanshan. Design of the Mechanical Part of the Autonomous Inspection Robot for Broiler Cage Raising Mode. *SSRN Elsevier*, v. 1, n. 1, p. 12-24, 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4457376>.
- CHEN, Changxi; YU, Xinwei Yu Xinwei; YU, Liji Yu Liji; XUE, Shanshan Xue Shanshan. Design of the Mechanical Part of the Autonomous Inspection Robot for Broiler Cage Raising Mode. *SSRN Elsevier*, v. 1, n. 1, p. 12-24, 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4457376>.
- CHENG, Chao; FU, Jun; SU, Hang; REN, Luquan. Recent Advancements in Agriculture Robots: benefits and challenges. *Machines*, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 48, 1 jan. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/machines11010048>.

CIGR. 2002. Climatization of Animal Houses - Heat and moisture production at animal and house levels. 4th Report of Working Group of International Commission of Agricultural Engineering, Section II. Editors: Pedersen, S. & Sällvik, K., 46 pp.

COLOMBINO, Elena; PRIETO-BOTELLA, Daniel; CAPUCCHIO, Maria Teresa. Gut Health in Veterinary Medicine: a bibliometric analysis of the literature. *Animals*, [S.L.], v. 11, n. 7, p. 1997, 3 jul. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ani11071997>.

CRISTO, Adrieli Braga de; SCHIMIDT, Joice Meri; PERINI, Rafaela; MORA, Mateus; MARQUES, Patrícia Fernanda dos Santos; SANTOS, Alexandre Lesseur dos; FERNANDES, Jovanir Inês Muller. Efeito da densidade de alojamento sobre a incidência de pododermatite e características ósseas de frangos de corte criados em aviários Dark House. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 161-173, mar. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1519-99402017000100015>.

DE JONG, I., Van Harn, J., Gunnink, H., Hindle, V. & Lourens, A. (2012). Footpad dermatitis in dutch broiler flocks: prevalence and factors of influence. *Poultry Science*, 91, 1569-1574.

DORNELAS, Karoline Carvalho; MASCARENHAS, Nágela Maria Henrique; ROCHA, Priscila Almeida dos Santos da; TON, Ana Paula Silva; AMARAL, Adriana Garcia do; SCHNEIDER, Roselene Maria; BRITO, Alícia Nayana dos Santos Lima de; FURTADO, Dermeval Araújo; NASCIMENTO, José Wallace Barbosa do. Chicken bed reuse. *Environmental Science And Pollution Research*, [S.L.], v. 30, n. 14, p. 39537-39545, 14 fev. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-023-25850-8>.

FAUSTINO AC, Turco SHN, Silva Junior RGC, Miranda IB, Anjos IE, Lourençoni D (2021) Spatial variability of enthalpy and illuminance in free-range broiler sheds TT. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 25(5): 340–344.

FEI, Jie Deng; HAO, Wang; JUN, Wang; WEI, Xuan. Real-Time Recognition Study of Egg-Collecting Robot in Free-Range Duck Sheds. *SSRN Elsevier*, v. 1, n. 1, p. 37-49, 22 mar. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4396479>.

FENG, Qing Chun; WANG, Xiu. Design of Disinfection Robot for Livestock Breeding. *Procedia Computer Science*, [S.L.], v. 166, p. 310-314, 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2020.02.093>.

FIGUEIRA, Samantha; NASCIMENTO, Gisele; MOTA, Bárbara; LEONÍDIO, Angélica; ANDRADE, Maria Auxiliadora. BEM-ESTAR ANIMAL APLICADO A FRANGOS DE CORTE. *Revista Enciclopédia Biosfera, Jandaiaa-Go*, v. 46, n. 20, p. 643-663, 20 dez. 2014.

FULTON, J. E.. Genomic selection for poultry breeding1. *Animal Frontiers*, [S.L.], v. 2, n. 1, p. 30-36, 1 jan. 2012. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.2527/af.2011-0028>.

GASMETRIC. 2016. Gasmetric lanza un nuevo producto de medición del ambiente en granjas. Disponível em <<https://seleccionesavicolas.com/files/digital/revista-de-avicultura-seleccionesavicolas/2016-05-selecciones-avicolas-revista/html5/index.html?page=047>> Acessado em <23/01/2023>.

GOMES, J.S., MATONO, D., SMANIOTTO, B.D., VALEZE, L.D., BAZZO, I.C., RODOVALHO, M. V. T., SGARBOSA, S. H. P. V. Thermal Stress in the poultry industry. Universidade Paulista/ UNIP. Bauru/SP. 2015.

GUNDIM, Lígia Fernandes; RODRIGUES, Evelyn Assad; BLANCA, William Torres; COLETO, Arlinda Flores; MEDEIROS, Alessandra Aparecida. Causas de condenações de frangos de corte relacionados a manejo e ambiência. Enciclopédia Bioesfera: Centro Científico Saber. Goiânia, p. 100-108. jun. 2015.

HACKENHAAR, Neusa Maria; HACKENHAAR, Celso; ABREU, Yolanda Vieira de. Robótica na agricultura. Interações (Campo Grande), [S.L.], v. 16, n. 1, p. 119-129, jun. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1518-70122015110>.

HARTCHER, K.M.; LUM, H.K.. Genetic selection of broilers and welfare consequences: a review. World'S Poultry Science Journal, [S.L.], v. 76, n. 1, p. 154-167, 21 dez. 2019. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00439339.2019.1680025>.

HARTUNG, J.; SEEDORF, J. Characterization of airborne dust in livestock housing and its effects on animal and environment. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON DUST CONTROL IN ANIMAL PRODUCTION FACILITIES, 1., 1999, Aarhus. Proceedings... Aarhus: Danish Institute of Agricultural Sciences, 1999. p.140-53.

HFAC (HUMANE FARM ANIMAL CARE). Humane Farm Animal Care Animal Care Standards – CHICKENS, 2009. Disponível em: <<http://certifiedhumane.org/wpcontent/uploads/pdfs/Std09.Chickens.2J.pdf>>. Acesso em: 13 de setembro de 2013.

HFAC (HUMANE FARM ANIMAL CARE). Humane Farm Animal Care Animal Care Standards – CHICKENS, 2009. Disponível em: <<http://certifiedhumane.org/wp-content/uploads/pdfs/Std09.Chickens.2J.pdf>>. Acesso em: 15 de março de 2024.

KIM, Na Yeon; KIM, Seong Jin; OH, Mirae; JANG, Se Young; MOON, Sang Ho. Changes in facial surface temperature of laying hens under different thermal conditions. Animal Bioscience, [S.L.], v. 34, n. 7, p. 1235-1242, 1 jul. 2021. Asian Australasian Association of Animal Production Societies. <http://dx.doi.org/10.5713/ab.20.0647>.

LAVICOLE ROBOT, 2020. Self-propelled and radio-controlled cleaning machine designed for poultry houses, chicken coops. Disponível em <<https://www.rabaud.com/en/products/poultry-cleaning-machine/poultry-houses-cleaning-machine-lavicole.html>>. Acesso em <23/01/2023>.

LI, Guoming; GATES, Richard S.; MEYER, Meaghan M.; BOBECK, Elizabeth A.. Tracking and Characterizing Spatiotemporal and Three-Dimensional Locomotive Behaviors of Individual Broilers in the Three-Point Gait-Scoring System. *Animals*, [S.L.], v. 13, n. 4, p. 717, 17 fev. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ani13040717>.

LI, X.; ZHANG, J.; JIN, W.; LIU, W. Key. Technology Implementation of Poultry Breeding System for 5G Intelligent IOT. 2020 Ieee Conference On Telecommunications, Optics And Computer Science (Tocs), XXX, 11 dez. 2020. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/tocs50858.2020.9339747>.

LIN, Rongfeng; FAN, Jianan; SUN, Zhijin; YAN, Yonghuan; ZHAN, Xianghui. Design of integrated robot for risk waste transfer and disinfection. *Journal Of Physics: Conference Series*, [S.L.], v. 2587, n. 1, p. 012054, 1 set. 2023. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/2587/1/012054>.

LOPES, Jackelline Cristina Ost. *Avicultura*. Natal: Secretaria de Educação A Distância da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2011. 96 p.  
MACARI, M.; FURLAN, R. L. *Ambiência na produção de aves em clima tropical*. In: SILVA, I. J. da (Ed.) *Ambiência na produção de aves em clima tropical*. Piracicaba: FUNEP, p. 31-87. 2001.

MANSILHA, Ricardo Brandão; COLLATTO, Dalila Cisco; LACERDA, Daniel Pacheco; MORANDI, Maria Isabel Wolf Motta; PIRAN, Fabio Sartori. Environmental externalities in broiler production: an analysis based on system dynamics. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 209, p. 190-199, fev. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.179>.

MAXWELL, M. H.; ROBERTSON, G. W. UK. Survey of broiler ascites and sudden death syndromes in 1993. *British Poultry Science*, London, v. 39, n. 1, p. 203-215, 1998.

MEDEIROS, Alessandra Aparecida. Causas de condenações de frangos de corte relacionados a manejo e ambiência. *Enciclopédia Bioesfera: Centro Científico Saber*. Goiânia, p. 100-108. jun. 2015.

MELAK, Awoke; ASEGED, Tesfalem; SHITAW, Takele. The Influence of Artificial Intelligence Technology on the Management of Livestock Farms. *International Journal Of Distributed Sensor Networks*, [S.L.], v. 2024, p. 1-12, 8 jan. 2024. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2024/8929748>.

MICKELBERRY, W. V.; ROGLER, J. C.; STALDEMAN, W. J. The influence of dietary fat and environmental temperature upon chick growth and carcass composition. *Poultry Science*, Champaign, n. 45, p. 313-321, 1966.

MIRAGLIOTTA, M. Y. *Avaliação das condições do ambiente interno em dois galpões de produção comercial de frangos de corte, com ventilação e densidade populacional diferenciados*. 2005, 258p. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

MOURA, D. J., BUENO, L. G., LIMA, K. A., CARVALHO, T. M., MAIA, A. P. Strategies and facilities in order to improve animal welfare. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 2010, 39, 311-316.

MUNIZ, Sérgio Ricardo. Introdução a análise estatística de medidas. In: MARQUES, G. C. (org.). *Fundamentos da Matemática II*. São Paulo: Univesp, 2019. p. 264-282.  
Nääs, I. de A.; Miragliotta, M.Y.; Baracho, M. dos S.; Moura, D. J. de. Ambiência aérea em alojamento de frangos de corte: poeira e gases. *Engenharia Agrícola*, v.27, n.2, p.326-335, 2007.

OLIVEIRA, R. F. M.; Donzele, J. L.; Abreu, M. L. T.; Ferreira, R. A.; Vaz, R. G. M. V.; Cella, P. S. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.35, n.3, p.797-803, 2006.

OLIVEIRA, Jofran L.; RAMIREZ, Brett C.; XIN, Hongwei; WANG, Yu; HOFF, Steven J.. Ventilation performance and bioenergetics of dekalb white hens in a modern aviary system. *Biosystems Engineering*, [S.L.], v. 199, p. 149-161, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.03.014>.

OWADA, A. N.; NAAS, I. de A.; MOURA, D. J. de; BARACHO, M. dos S. Estimativa de bem-estar de frango de corte em função da concentração de amônia e grau de luminosidade no galpão de produção. *Engenharia Agrícola*, v.27, n.3, p.611- 618, 2007.

PHIRI, Hazael; KUNDA, Douglas; PHIRI, Jackson. An IoT Smart Broiler Farming Model for Low Income Farmers. *International Journal Of Recent Contributions From Engineering, Science & It (Ijes)*, [S.L.], v. 6, n. 3, p. 95, 8 nov. 2018. International Association of Online Engineering (IAOE). <http://dx.doi.org/10.3991/ijes.v6i3.9287>.

PONCIANO, P. F.; LOPES, M. A.; YANAGI JUNIOR, T.; FERRAZ, G. A. S.. Análise do ambiente para frangos por meio da lógica fuzzy: uma revisão. *Archivos de Zootecnia*, [S.L.], v. 60, n. 232, p. 1-13, 13 abr. 2011. Cordoba University Press (UCOPress). <http://dx.doi.org/10.21071/az.v60i232.4913>.

POULTRY PATROL, 2019. Revolutionizing poultry production with autonomous robots. Disponível em < [https://poultrypatrol.com/?page\\_id=472](https://poultrypatrol.com/?page_id=472)>. Acessado em <20/01/2023>.

QI, Fei; ZHAO, Xuedong; SHI, Zhengxiang; LI, Hao; ZHAO, Wanying. Environmental Factor Detection and Analysis Technologies in Livestock and Poultry Houses: a review. *Agriculture*, [S.L.], v. 13, n. 8, p. 1489, 27 jul. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture13081489>.

RAJA, Rekha. Software Architecture for Agricultural Robots: systems, requirements, challenges, case studies, and future perspectives. *Ieee Transactions On Agrifood Electronics*, [S.L.], p. 1-13, 2024. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/tafe.2024.3366335>.

REECE, F.N., Lott, B.D. and Deaton, J.W. 1980. Ammonia in the atmosphere during brooding affects performance of broiler chickens. *Poult. Sci.*, 59: 486-488

REJEB, Abderahman; ABDOLLAHI, Alireza; REJEB, Karim; TREIBLMAIER, Horst. Drones in agriculture: a review and bibliometric analysis. *Computers And Electronics In Agriculture*, [S.L.], v. 198, p. 107017, jul. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2022.107017>.

REN, G. et al. Agricultural robotics research applicable to poultry production: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 169, p. 105216, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105216>.

REN, Guoqiang; LIN, Tao; YING, Yibin; CHOWDHARY, Girish; TING, K.C.. Agricultural robotics research applicable to poultry production: a review. *Computers And Electronics In Agriculture*, [S.L.], v. 169, p. 105216, fev. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2020.105216>.

RESENDE, Gustavo Righetti de Andrade et al. Viabilidade econômica da compostagem de carcaça de frangos mortos durante a criação. 2007, Anais.. São Paulo: USP, 2007. . Acesso em: 19 mar. 2024.

ROSA, P.S.; ALBINO, J.J.; BASSI, L.J.; GRAH, R.A.; ROSA, D.R.; NIENDICKER T.P. Manejo pré-abate em frangos de corte Instrução técnica para o avicultor. Embrapa suínos e aves. Concórdia, n. 36, 2012.

SALSA, Ivone da Silva; MOREIRA, Jeanete Alves. Probabilidade e Estatística. 2. ed. Natal: Edufrn, 2014. 392 p.

SAMPAIO, C.A.P.; NAAS, I.A.; NADER, A. Gases e ruídos em edificações para suínos: aplicação das normas NR-15, CIGR e ACGIH. *Engenharia Agrícola*. [online]. v. 25, n.1, p.10-18, 2005.

SCHIASSI, Leonardo; YANAGI JUNIOR, Tadayuki; FERRAZ, Patrícia F. P.; CAMPOS, Alessandro T.; SILVA, Guilherme R. e; ABREU, Lucas H. P.. Comportamento de frangos de corte submetidos a diferentes ambientes térmicos. *Journal Of The Brazilian Association Of Agricultural Engineering: Revista Engenharia Agrícola*. Jaboticabal, p. 390-396. jun. 2015.

SILVA, Vander Luiz da; KOVALESKI, João Luiz; PAGANI, Regina Negri; GOMES, Myller Augusto Santos. Industry 4.0 implementations: a systematic review of approaches and main applicabilities in the broiler meat production chain. *World'S Poultry Science Journal*, [S.L.], v. 79, n. 3, p. 563-579, 15 maio 2023. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00439339.2023.2205610>.

SOUZA, Ana Paula de Oliveira; FRANCO, Bruna Maria Remonato; MOLENTO, Carla. Bem-Estar de frangos de corte na sustentabilidade ambiental da produção avícola. Conference: III Simpósio de Sustentabilidade e Ciência Animal: Sustentabilidade e Ciência Animal, Pirassununga/Sp, nov. 2013.

SOUZA, A.P.O.; MOLENTO, C.F.M. Good agricultural practices in broiler chicken production in the state of Paraná: focus on animal welfare. *Ciencia Rural*, v.45, n.12, p.2239-2244, 2015.

SPOUTINIC NAV, 2016. Invented by breeders, developed for their needs, rewarded by their results. Disponível em <<https://www.tibot.fr/en/solutions/poultry-robot-spoutnicnav/>>. Acessado em <23/01/2023>.

TANG, Lie; XIANG, Lirong; GAI, Jingyao; BAO, Yin; YU, Jianming; SCHNABLE, Patrick S. Field-based robotic leaf angle detection and characterization of maize plants using stereo vision and deep convolutional neural networks. *Journal Of Field Robotics*, [S.L.], v. 40, n. 5, p. 1034-1053, 27 fev. 2023. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/rob.22166>.

TINÔCO, I. de F. F.; Figueiredo, J. L. A.; Santos, R. C.; Silva, J. N. da; Pugliesi, N. L. Placas porosas utilizadas em sistemas de resfriamento evap UBA - União Brasileira de Avicultura. Relatório anual 2007/2008. [http://www.uba.org.br/uba\\_rel08\\_internet.pdf](http://www.uba.org.br/uba_rel08_internet.pdf). 19 Mar. 2024.

UYANGA, Victoria Anthony; MUSA, Taha H.; OKE, Oyegunle Emmanuel; ZHAO, Jingpeng; WANG, Xiaojuan; JIAO, Hongchao; ONAGBESAN, Okanlawon M.; LIN, Hai. Global trends and research frontiers on heat stress in poultry from 2000 to 2021: a bibliometric analysis. *Frontiers In Physiology*, Lausanne, Switzerland, v. 14, n. 1, p. 1-1, 7 fev. 2023. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2023.1123582>.

VROEGINDEWEIJ, Bastiaan A.; BLAAUW, Sam K.; IJSSELMUIDEN, Joris M.M.; VAN HENTEN, Eldert J.. Evaluation of the performance of PoultryBot, an autonomous mobile robotic platform for poultry houses. *Biosystems Engineering*, [S.L.], v. 174, p. 295-315, out. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.07.015>.

WAKCHAURE, Y. B.; PATLE, B. K.; PAWAR, Sachin. Prospects of robotics in food processing: an overview. *Journal Of Mechanical Engineering, Automation And Control Systems*, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 17-37, 21 jun. 2023. JVE International Ltd.. <http://dx.doi.org/10.21595/jmeacs.2023.23209>.

WATHES, C. M. Strive for clean air in your poultry house. *World Poultry*, v.15, n.3, p.17-19, 1999.

WANG, Kai; SHEN, Dan; DAI, Pengyuan; LI, Chunmei. Particulate matter in poultry house on poultry respiratory disease: a systematic review. *Poultry Science*, [S.L.], v. 102, n. 4, p. 102556, abr. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psj.2023.102556>.

WINKEL, Albert; MOSQUERA, Julio; AARNINK, André J.A.; KOERKAMP, Peter W.G. Groot; OGINK, Nico W.M.. Evaluation of oil spraying systems and air ionisation systems for abatement of particulate matter emission in commercial poultry houses. *Biosystems Engineering*, [S.L.], v. 150, p. 104-122, out. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.07.014>.

WU, Dihua; CUI, Di; ZHOU, Mingchuan; YING, Yibin. Information perception in modern poultry farming: a review. *Computers And Electronics In Agriculture*, [S.L.], v. 199, p. 107131, ago. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2022.107131>.

XIE, Dongbo; CHEN, Liang; LIU, Lichao; CHEN, Liqing; WANG, Hai. Actuators and Sensors for Application in Agricultural Robots: a review. *Machines*, [S.L.], v. 10, n. 10, p. 913, 9 out. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/machines10100913>.

XIANG, Lirong; WANG, Dongyi. A review of three-dimensional vision techniques in food and agriculture applications. *Smart Agricultural Technology*, [S.L.], v. 5, p. 100259, out. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atech.2023.100259>.

YANG, X.; ZHAO, Y.; STREET, G.M.; HUANG, Y.; TO, S.D. Filip; PURSWELL, J.L.. Classification of broiler behaviours using triaxial accelerometer and machine learning. *Animal*, [S.L.], v. 15, n. 7, p. 100269, jul. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.animal.2021.100269>.

YANG, Qinghua; DU, Xiaoqiang; WANG, Zhiheng; MENG, Zhichao; MA, Zenghong; ZHANG, Qin. A review of core agricultural robot technologies for crop productions. *Computers And Electronics In Agriculture*, [S.L.], v. 206, p. 107701, mar. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2023.107701>.

ZHANG, Qin. Opinion: agricultural robotics, issues worthy to study. *Computers And Electronics In Agriculture*, [S.L.], v. 216, p. 108528, jan. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2023.108528>.

ZHENG, W.; XIONG, Y.; GATES, R.s.; WANG, Y.; KOELKEBECK, K.W.. Air temperature, carbon dioxide, and ammonia assessment inside a commercial cage layer barn with manure-drying tunnels. *Poultry Science*, [S.L.], v. 99, n. 8, p. 3885-3896, ago. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psj.2020.05.009>.



## **4 DESIGN E PROTOTIPAÇÃO DE UMA ESTRUTURA ROBÓTICA PARA UM ROBÔ NA AVICULTURA DE FRANGOS DE CORTE**

### **Resumo**

A identificação e predição de perdas, análises ambientais, comportamentais e bem-estar dos animais são impulsionadores para a utilização de tecnologias na avicultura de corte que possam caracterizar o ambiente produtivo. Dentre estas tecnologias a robótica emerge com uma facilitadora pois dá espaço para o uso de diversas ferramentas de computação para captura, análise e predição. Este trabalho apresenta todo o ferramental para construção de um robô (denominado RobôFrango) para atuar na avicultura de corte. O método construtivo foi baseado em prototipações evolutivas que permitiram conhecer e testar cada componente físico para a montagem da estrutura robótica e, desta forma, foi possível avaliar quais eram as mais adequadas para o sistema de produção de frangos de corte. Os resultados apresentaram motores, rodas, chassi, baterias e sensores que demonstraram serem os mais adaptáveis para as adversidades existentes em aviários. A validação da estrutura final construída foi realizada por meio da execução prática do robô procurando compreender como cada componente se comportou em um aviário comercial. Conclui-se que foi possível conhecer os melhores equipamentos eletrônicos e físicos para construção de um protótipo robótico para atuar em aviários e que um produto final foi gerado.

Palavras-chave: Robótica na avicultura, Sensores e atuadores na avicultura

### **Abstract**

The identification and prediction of losses, environmental, behavioral and animal welfare analyzes are drivers for the use of technologies in poultry farming that can characterize the productive environment. Among these technologies, robotics emerges as a facilitator as it provides space for the use of various computing tools for capture, analysis and prediction. This work presents the entire instrument for building a robot (called RobôFrango) to work in poultry farming. The construction method was based on evolutionary prototyping that made it possible to understand and test each physical component for assembling the robotic structure and, in this way, it was possible to evaluate which were the most suitable for the broiler production system. The results included motors, wheels, chassis, batteries and sensors that were the most adaptable to the adversities existing in poultry farms. Validation of the final constructed structure was carried out through practical execution of the robot, seeking to understand how each component behaved in a commercial poultry farm. It is concluded that it was possible to discover the best electronic and physical equipment for building a robotic prototype to work in poultry farms and that a final product was generated.

Keywords: Robotics in poultry farming, Sensors and actuators in poultry farming

#### 4.1 Introdução

A avicultura de corte vem recebendo profundas transformações nas últimas décadas por conta das inovações tecnológicas promovidas pela Zootecnia de Precisão (KOPLER et al., 2023; TZANIDAKIS et al.; 2023). Preocupações como redução de perdas, análise ambiental, análise comportamental e o bem-estar animal são fatores que inspiram a utilização de tecnologias como *Big Data* (FRANZO; et al., 2023), Inteligência Artificial (DEPURU et al., 2024; BAO; XIE, 2022; WU et al., 2022; SINGH et al., 2020) e robótica (YUAN et al., 2023; UZEDHE et al., 2023; Tibot, 2023) como soluções para identificação de gargalos tecnológicos nos índices produtivos. Isso permite compreender como algumas lacunas produtivas podem ser preenchidas por meio da combinação de dispositivos eletrônicos com tecnologias inteligentes que geram modelos analíticos e preditivos sobre pontos da produção animal que não são de fácil análise.

A robótica entra neste contexto como uma ferramenta que pode ser utilizada tanto para monitorar quanto para atuar nas chamadas “*smart farms*”. Na atuação as tarefas repetitivas (ou que exijam a presença humana em situações insalubres) podem ser automatizadas por um dispositivo mecânico e eletrônico que realize uma tarefa de acordo com um resultado previamente programado. Pesquisas atuais apresentam diversos robôs que têm a capacidade de coletar ovos pelo chão do aviário (PARAJULI et al., 2020; REN et al., 2018), revolver a cama, sanitizar o ambiente e promover o deslocamento das aves (PARK et al., 2022; PRIYA et al., 2021; CHANG et al., 2020; VROEGINDEWEIJ et al., 2018), dentre outras. No monitoramento os sensores ambientais de alta precisão podem monitorar e avaliar condições térmicas e ambientais que são de fundamental precisão para o desenvolvimento fisiológico dos animais e seu bem-estar (DEPURU et al., 2024; MONTALCINI et al., 2022; OLEJNIK et al., 2022) e acionar equipamentos.

Este trabalho apresenta a hipótese de que é possível utilizar componentes mecânicos e eletrônicos de prototipação rápida para desenvolver um robô móvel para atuar na avicultura de corte. Têm-se como objetivo geral a apresentação do design construtivo de uma estrutura robótica móvel. Como objetivos específicos pretende-se: a) desenhar e implementar uma estrutura robótica (denominada RobôFrango) capaz de suportar componentes eletrônicos de movimentação e suporte para coleta de dados; b) desenvolver e implantar uma

estrutura algorítmica em uma linguagem de programação compatível capaz de realizar a locomoção e atuação da estrutura robótica em um aviário comercial de frangos de corte; e c) realizar a execução dessa estrutura robótica em um aviário comercial para avaliar sua eficiência na movimentação.

#### 4.2 Materiais e Métodos

A técnica construtiva foi adaptada na metodologia Scrum de desenvolvimento de *software* (SUTHERLAND, 2020). Foi proposto a elaboração do “*product backlog*” para as funcionalidades do projeto e, em seguida, os “*sprints backlogs*” foram definidos com o tempo máximo de execução de 3-5 semanas, totalizando uma perspectiva de 15 meses de desenvolvimento. Desta forma a construção foi dividida em 4 “*sprints*” (Figura 1).



**Figura 1.** Técnica construtiva da estrutura robótica.

O detalhamento dos “*sprints*” é apresentado a seguir:

1. **Prototipações evolutivas:** objetivando conhecer/identificar os componentes eletrônicos mais adequados para o projeto e seu comportamento em um aviário comercial de frangos de corte este “*sprint*” gerou diversos protótipos de estruturas robóticas que foram analisadas sobre diferentes aspectos (locomoção, capacidade de carga, leitura de dados, etc); os resultados foram várias perspectivas qualitativas sobre a utilização dos componentes até a adequação dos mais aptos para construção da modelagem e posterior produto final;
2. **Modelagem 3D e implementação física:** design do dimensionamento estrutural da composição robótica foi realizado por meio de modelagem utilizando uma ferramenta CAD (*Computer Aided Design*); objetivou-se elaborar um protótipo virtual que pudesse ser validado em formato e dimensões em escala reduzida de forma a comportar todos os componentes e sua distribuição para harmonizar com

o centro de gravidade do robô; o modelo final foi construído em tamanho real utilizando materiais estruturantes; e

3. **Codificação e experimento em campo:** implementação de um algoritmo em linguagem de programação que permitiu: a) manipular a estrutura motora de locomoção do robô; e b) realizar seu deslocamento no aviário para análise dos componentes eletrônicos e mecânicos.

### 4.3 Resultados e Discussões

Este trabalho foi submetido, analisado e aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo, sob protocolo número 7364090322. Para a execução deste projeto foi realizada uma parceria com um produtor de frangos de corte da linhagem Cobb no estado de São Paulo localizado na cidade de Itatiba (Latitude: -23.0068, Longitude: -46.8387, 23° 0' 24" Sul, 46° 50' 19" Oeste; de altitude 771 m; e caracterizada como clima subtropical úmido com classificação climática de Köppen-Geiger: Cfa). O aviário utilizado foi do tipo pressão negativa e possuía as dimensões de 135m de comprimento, por 14m de largura, pé direito de 3m, composto por placas evaporativas, ventiladores do tipo exaustores e contava também com um sistema eletrônico de monitoramento de umidade relativa do ar e temperatura do ar seco (marca inoBram, modelo SMAAI 3 PE) que atuava de forma automática.

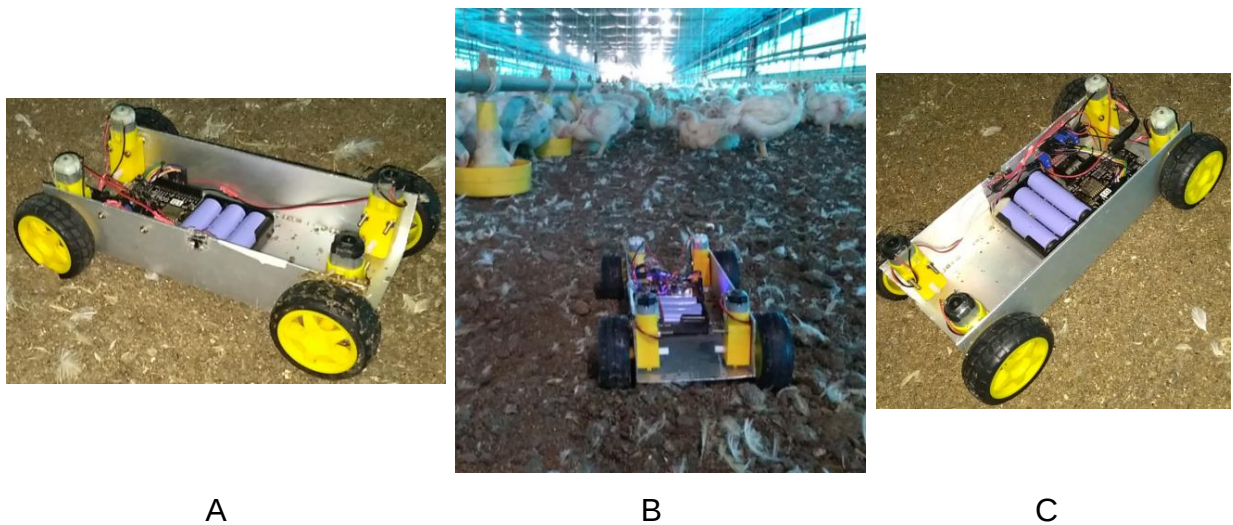
#### 4.3.1 Prototipações evolutivas

O ambiente de um aviário é um local demasiadamente agressivo para a presença de componentes e circuitos eletrônicos. Níveis de gases (como amônia e dióxido de carbono), poeira, umidade relativa do ar e temperatura do ar estão sempre em oscilações que podem afetar a vida útil dos componentes químicos e físicos que constituem os equipamentos eletrônicos. Além disso, o piso (cama de frango) é outro fator que dificulta a presença de robôs por diversos fatores, como: o seu próprio material pode dificultar o deslocamento das rodas e os detritos (fezes e urina) dos animais podem tanto acumular nos acopladores (aumentando assim o arrasto) quanto produzir corrosões. Desta forma, são apresentados os resultados dos estudos preliminares de diferentes tipos de arquiteturas robóticas, motores,

baterias, microcontroladores, etc. para determinar quais seriam os mais adequados a esse ambiente.

### Primeiro protótipo

O primeiro protótipo criado foi construído em uma estrutura de alumínio, com um microcontrolador *Wemos D1*, quatro motores DC de 6v, rodas de 65mm x 25mm, ponte H L298N e três baterias 18650 de 1500mAh (Figura 2).



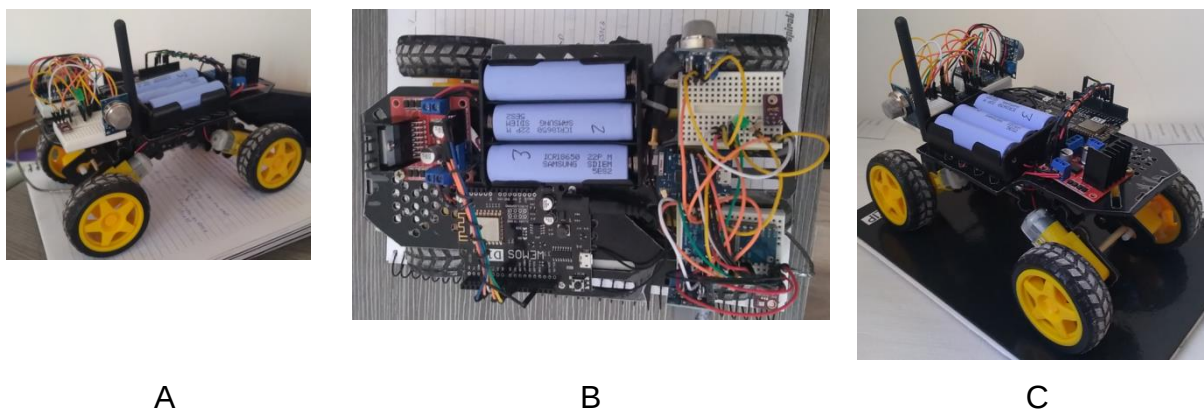
**Figura 2.** Primeiro protótipo construído: A: visão superior esquerda; B: testes no aviário; C: visão superior direita.

Este protótipo foi levado a um aviário comercial e apresentou os seguintes resultados: as rodas eram lisas e acumulavam muita sujeira, além de serem pequenas demais para elevar a estrutura e manter um vão livre suficiente para não raspar o piso do protótipo; os motores eram deficientes no torque e não conseguiam conduzir a estrutura (que era leve, 745g) além de não conseguirem fazer o robô realizar curvas (mesmo travando as rodas da esquerda para girar para a direita e vice-versa) porém, a ponte H foi satisfatória para controle (*driver*) dos motores; foram escolhidas três baterias modelo 18650 de 1mAh e elas tiveram carga suficiente para a execução dos testes sendo posteriormente recarregadas; a estrutura em alumínio não garantia isolamento adequado gerando de tempos em tempos, curtos que desligavam toda a estrutura; o microcontrolador se mostrou satisfatório conseguindo suportar um programa em linguagem C++ que direcionava

o robô; por fim, seu tamanho (comp. 25cm x larg. 15cm x alt. 12cm) não era o suficiente para conviver com os animais nas semanas finais do ciclo de criação e não conseguia carregar um módulo de análise ambiental.

### Segundo protótipo

A tentativa de compra de um chassi (ou estrutura) pronta foi realizada na segunda prototipação (Figura 3). Porém os resultados não foram satisfatórios: uma estrutura em plástico resistente foi adquirida com a vantagem de manter um excelente vão livre para o solo (8cm) porém suas dimensões (comp. 25cm x larg. 20cm x alt. 10cm) não eram suficientes para carregar os sensores de ambiência; além disso, ele fornecia suporte apenas para os mesmos motores *Direct Current* (DC) e rodas do robô anterior e ainda não tinha proteção *Battery Management System* (BMS<sup>1</sup>) apesar de conseguir comportar alguns sensores de ambiência; o Wemos D1 se mostrou incompatível pois apresenta apenas uma porta analógica e existem vários sensores que transmitem dados por meio de portas analógicas sendo necessários a inserção de mais um componente (multiplexador) para garantir essa comunicação além do seu tamanho que ocupava muito espaço na estrutura; por fim, a motorização não tinha forças suficiente para girar o robô.



**Figura 3.** Segundo protótipo construído: A: visão lateral esquerda; B: visão superior; C: visão frontal.

A fragilidade das rodas levou a estudos que determinassem o melhor tipo para execução na cama de frango (especificamente maravalha de madeira e casca de amendoim). Foram analisados cinco tipos de rodas e não foram levadas

---

<sup>1</sup> BMS: sistema eletrônico que gerencia as células de baterias de Lítio monitorando e agindo de forma ativa para garantir a proteção dos elementos.

em consideração o furo de encaixe da roda com o motor (existem acopladores que servem de ligação entre a roda e o eixo do motor) (Tabela 1). O fabricante foi desconsiderado pois este tipo de equipamento, geralmente, não possui rotulagem.

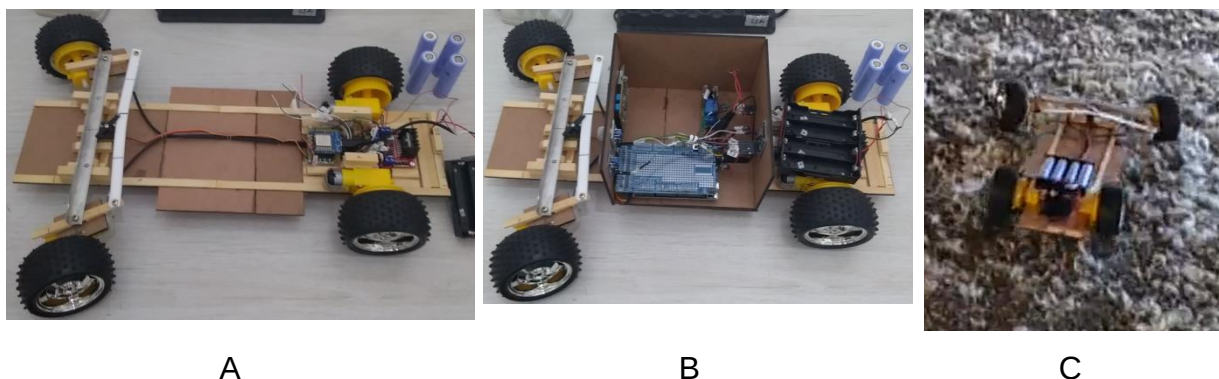
**Tabela 1.** Rodas utilizadas na pesquisa.

| <b>Roda modelo /<br/>Diâmetro</b> | <b>Largura do pneu</b> | <b>Revestimento externo</b>       |
|-----------------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| 34mm                              | 6,5mm                  | Emborrachado com frisos           |
| 68mm                              | 28mm                   | Emborrachado com frisos discretos |
| 85mm modelo A                     | 38mm                   | Emborrachado com garras           |
| 5mm modelo B                      | 38mm                   | Emborrachado com frisos discretos |
| Roda 130mm                        | 42mm                   | Emborrachado com garras           |

Fatores característicos da cama (como compactação, empedramento, emplastado, excesso de excrementos, etc.) foram analisados de forma qualitativa mediante as especificações técnicas das rodas. Portanto, os cinco modelos utilizados nesta pesquisa foram analisados sobre dois aspectos: aderência e altura (vão livre) da cama. O fator aderência foi escolhido devido às diferentes características que a cama apresenta ao longo de sua vida útil; e o fator altura foi escolhido por conta da possibilidade de manter o chassi do robô o mais alto possível da cama de frango evitando arrasto. Para a aderência, todas as rodas que tinham emborrachamento liso ou friso discreto (Roda 34mm, Roda 68mm e Roda 85mm modelo B) foram descartadas pois tendiam a patinar e a acumular detritos facilmente. Para a altura (vão livre) a Roda 115mm e a Roda 85mm modelo A se mostraram compatíveis com a presença tanto de deformidades na superfície da cama (elevações e depressões) quanto de partes empedradas. Por fim, tendo em vista que a cama pode se apresentar como compacta, pedregosa, emplastada, barrenta ou fofa (dependendo da sua idade e do nível de conservação) conclui-se que tanto a roda de 85mm quanto a de 130mm apresentaram uma boa distância de vão livre para a estrutura robótica em relação ao solo, além de possuírem aderência suficiente para descolamento da estrutura robótica por serem emborrachadas com garras.

### **Terceiro protótipo**

A terceira prototipação (Figura 4) foi baseada na arquitetura de Ackerman possuindo assim um chassi e o eixo frontal passível de esterçamento. Neste modelo foi escolhido o microcontrolador *Wemos D1 mini* por ter tamanho reduzido e com isso ganhou-se espaço para a presença do módulo sensor ambiental. As dimensões deste protótipo foram: comp. 55cm x larg. 15cm x 10cm alt.



**Figura 4.** Terceiro protótipo construído: A: visão superior; B: visão superior com o protótipo do sensor ambiental; C: visão em teste em campo.

O esterçamento das rodas foi suficiente para fazer o robô se deslocar em vários sentidos, o tamanho foi possível para acomodar o protótipo do sensor ambiental, porém, o *Wemos Mini* possui um número muito reduzido de portas digitais e somente uma analógica além de neste modelo ainda contar com rodas muito baixas, motores DC fracos; as baterias não possuíam circuito de proteção (*Battery Management System*) o que acarretava em seu mau funcionamento (descargas muito rápidas) principalmente quando sua carga estivesse no final, porém seu tempo de vida foi considerado bom (em torno de uma hora ininterrupta). Seu deslocamento no aviário foi satisfatório, porém, não suportava peso acima de 1kg (p.ex. se um animal subir neste protótipo ele não teria força para continuar o seu deslocamento).

As baterias foram analisadas a partir deste terceiro protótipo. Foram analisados diferentes modelos de bateria seguindo os três tipos: LiPO, Li-Ion e selada (*Valve Regulated Lead Acid* - VRLA). Não foram analisadas as células ou baterias individuais, mas sim baterias organizadas em packs que oferecem maior capacidade de armazenamento de energia, com circuitos de proteção (BMS) e variações de tensão entre 6v a 16v (mínimo e máximo suportado pelo *Wemos Mega R3 ESP8266/ATmega2560*). A Tabela 2 apresenta os modelos avaliados.

**Tabela 2.** Baterias analisadas para o projeto.

| <b>Tipo/Modelo</b>                                               | <b>Fabricante/Site</b>        | <b>Descrição</b>                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bateria Lipo<br>5000 80c Uruav 11.1v                             | Uruav<br>(www.uruav.com/)     | Bateria com capacidade de 5000mAh, tensão de 11.1v, alta taxa de descarga e peso de 383g                  |
| Bateria Lipo<br>11.1v 6500mah 45c<br>Uruav                       | Uruav<br>(www.uruav.com/)     | Bateria com capacidade de 6500mAh, tensão de 11.1v, média taxa de descarga e peso de 413g                 |
| Bateria VRLA<br>12V 40,0AH M6<br>UP12400 RT 06C043<br>- UNIPOWER | Unipower<br>(unipower.com.br) | Bateria selada do tipo VRLA com capacidade de 40Ah, tensão de 12v, alta taxa de descarga e peso de 13,5Kg |
| Bateria Li-Ion<br>JWS 6x18650<br>recarregável                    | JWS<br>(jws.com)              | Pack de baterias 18650 (6 unidades), tensão de 8.4v, capacidade de 28800mAh, peso 285g                    |
| Bateria Li-Ion<br>LiitoKala 12x18650<br>recarregável             | LiitoKala<br>(liito-kala.com) | Pack de baterias 18650 (6 unidades), tensão de 12v, capacidade de 50000mAh, peso 212g                     |

As duas baterias de Lipo apresentaram tensões compatíveis com o necessário no projeto, mas possuem uma baixa capacidade de carga. De acordo com o estudo realizado por Łebkowski (2017) sobre a influência da temperatura em estruturas robóticas, a temperatura de referência para este tipo de bateria é de 20°C e variações superiores ou inferiores a 10°C reduzem sua capacidade de utilização em torno de 8 a 25% (permanente). Desta forma, como estas baterias já possuem baixa capacidade de carga e o aviário, durante várias semanas das fases de criação, apresenta temperatura ambiente acima de 30°C, conclui-se que a temperatura do aviário irá diminuir a vida útil da bateria e, por ela possuir uma baixa capacidade de carga, terá um tempo útil reduzido. Portanto, este tipo de bateria foi qualificado como inadequado para o projeto. A bateria do tipo VRLA apresenta uma grande capacidade de carga (40Ah), tensão compatível com o projeto, porém, um

excesso de peso de 13,5kg o que irá causar um excesso de sobrepeso a estrutura robótica exigindo assim motores com torque de arranque acima do peso da bateria acrescido da própria estrutura robótica. Isso desqualificou esta bateria tornando-a também incompatível com o projeto. O pack de bateria de Li-Ion da JWS apresentou uma tensão baixa (8.4v), uma alta capacidade de carga 28Ah e um peso adequado (285g). Por fim, o pack de bateria Li-Ion da LiitoKala apresentou uma tensão adequada (12v), uma boa capacidade de carga de 10Ah e também um peso adequado (412g).

Baseando-se nessas considerações, conclui-se que a bateria de Li-Ion da JWS se apresentou compatível com a necessidade do projeto para a alimentação do circuito de sensores por ter uma alta capacidade de carga e tensão (8.4v) equivalente com o *Wemos R3 AtMega* mas não compatível com os motores DC de 12v. A bateria de Li-Ion *LiitoKala* apresentou tensão compatível (12v) com os motores DC de 12v e uma boa capacidade de carga. Assim, foi compreendido que o circuito de sensores seja implementado separadamente do circuito de movimentação, garantindo assim tensões compatíveis com os componentes de cada circuito e aumentando a capacidade de tempo de atuação da estrutura robótica. Desta forma são apresentados dois circuitos no sistema (movimentação e sensoriamento) com alimentações individuais. Isso corrobora com o apresentado no sistema de alimentação do *PoultryBot* pois de acordo com Vroegindeweij (2018) foram disponibilizadas um conjunto de bateria de 12v para o sistema de sensoriamento de obstáculos do robô e outro de 24v para o sistema de motorização. Isso se deu pelo fato de ter sido adotado no *PoultryBot* motores de 24v o que tornou incompatível o sistema de alimentação do mecanismo de motorização com o de sensoriamento. Neste projeto, foi garantido a compatibilidade de tensão entre todos os sensores e atuadores possibilitando o uso de um único modelo de bateria de mesma tensão.

#### **Quarto protótipo**

O quarto protótipo (Figura 5) apresentou resultados satisfatórios em termos de deslocamento e, portanto, foi completado com uma estrutura fechada (dimensões comp. 45cm x larg. 45cm e alt. 12cm). Neste momento o módulo do sensor ambiental foi acoplado e foi possível realizar testes de análise ambiental. Contudo suas rodas pequenas (acumulava muita sujeira e impediam elas de

funcionarem), incapacidade de carregar muito peso (caso um animal subisse nele não conseguiria continuar seu deslocamento), baixo vão livre da cama (raspava muito na cama e em ondulações não conseguia se desprender) e tamanho muito excedido em largura, tornaram-no incompatível com o ambiente principalmente por não conseguir afastar os animais (isso sugeriu os estudos de distância de fuga).



A



B

**Figura 5.** Quarto protótipo construído: A: visão superior com o protótipo do sensor ambiental; B: visão em teste em campo.

A falta de capacidade de transportar peso levou ao estudo de diversos tipos de motores. A motorização da estrutura robótica foi analisada considerando a necessidade de torque (arranque e movimento) e velocidade para deslocamento do chassi e sua estrutura em função das particularidades existentes na cama de frango. Assim, foram analisados: a velocidade dos motores por meio do número de rotações por minuto (rpm), a capacidade de movimentação a partir da inércia por meio do torque de arranque (deslocamento pós inércia), tensão de alimentação além de suas dimensões e peso. A Tabela 3 apresenta os quatro motores DC utilizados e suas características. Para este componente o fabricante foi desconsiderado por conta de que a maioria destes componentes não possuem etiqueta de rotulagem.

**Tabela 3.** Motores DC utilizados na pesquisa.

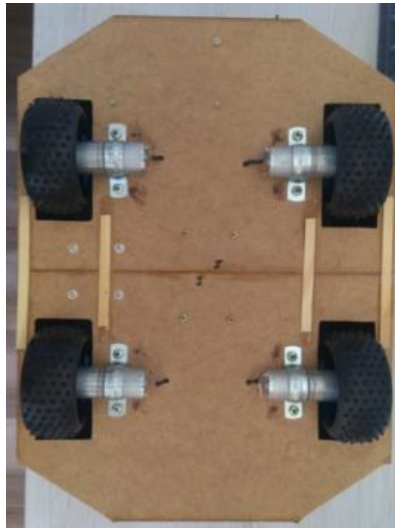
| <b>Modelo<br/>(dimensões e peso)</b>                                                    | <b>Tensão</b> | <b>Rotações</b> | <b>Torque<br/>(arranque e<br/>deslocamento)</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|-------------------------------------------------|
| Motor DC com eixo duplo<br>(comp: 70mm, altura:<br>22.5mm, largura: 37mm;<br>peso: 28g) | 3-6v          | 80rpm           | 0,35 Kgf/cm (3v) e 0,80<br>Kgf/cm (6v)          |
| N20 com eixo único<br>(comp: 36mm, altura: 12mm,<br>largura: 12mm; peso: ~15g)          | 6v            | 300rpm          | 1,7 kgf/cm (6v) e 0,60<br>kgf/cm (6v)           |
| Motor Dc 12v 25ga 370<br>(comp: 55mm, altura: 23mm,<br>largura 23mm, peso 32g)          | 6-12v         | 26rpm           | 9 kgf/cm e<br>25 kgf/cm                         |
| Motor Dc 12v 25ga 370<br>(comp: 60mm, altura: 25mm,<br>largura 25mm, peso 42g)          | 6-12v         | 12rpm           | 12 kgf/cm e<br>25 kgf/cm                        |

De acordo com Vroegindeweij (2018) o robô PoultryBot foi construído com três rodas pneumáticas controladas por dois controladores da Roboteq AX3300 (Roboteq Inc., Scottsdale, Arizona, EUA). Isso o tornou o seu projeto mais complexo se comparado com o mecanismo de quatro motores e apenas um controlador adotado neste projeto pois para o *PoultryBot* teve-se que realizar o cálculo da velocidade por roda individual, enquanto neste projeto o algoritmo empregado no microcontrolador desempenhou a mesma velocidade nas quatro rodas devido a ponte H L298n manter um controle único de velocidade para todas as rodas.

### Quinto protótipo

Para analisar a capacidade de deslocamento e carga com a utilização destes motores foi elaborado o quinto protótipo (Figura 6) que foi analisado em um

ensaio de movimentação. Este protótipo foi baseado no robo Pioneer 3-DX2 (*Adept Technology, Inc, Columbia Dr Amherst, NH 03031, EUA*). Porém, foi incluído quatro motores de 12v e rodas de 85mm com limpadores (para-barro). O microcontrolador foi alterado para o Wemos Wifi R3 ATmega2560 + ESP8266 por ter uma quantidade maior de portas digitais, analógicas, memória e processamento. Suas dimensões foram comp. 45 cm x larg. 35 cm x alt. 41 cm.



A

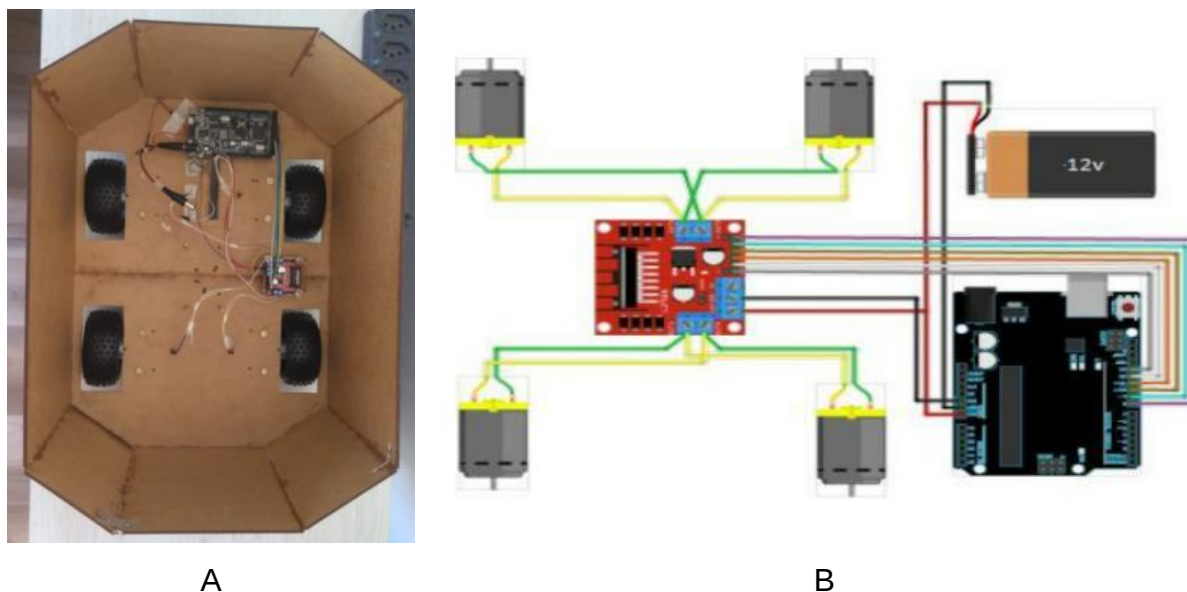


B

**Figura 6.** Quinto protótipo construído: A: visão inferior; B: visão lateral.

A modelagem levou em consideração a distribuição espacial dos componentes no chassi do robô por meio da correta distribuição de pesos e espaçamento entre componentes, garantindo a estabilidade do robô com análise no centro de gravidade. Os motores foram controlados por um driver ponte H L298n e o microcontrolador *Wemos Wifi* ESP8266 + AtMega328p e alimentados por uma fonte de energia de corrente contínua de 12v. Um diagrama do circuito eletrônico foi projetado para compreender o esquema de ligação entre os componentes (Figura 7).

<sup>2</sup> <https://www.generationrobots.com/media/Pioneer3DX-P3DX-RevA.pdf>



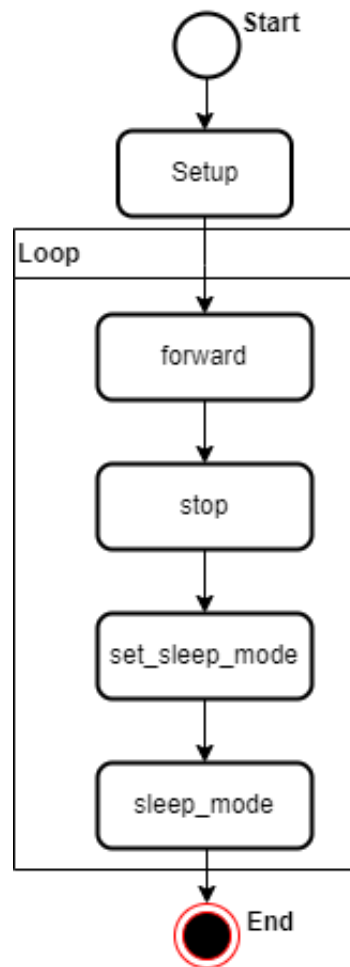
**Figura 7.** Análise dos motores no quinto protótipo: A: distribuição dos componentes internos; B: esquema elétrico.

Para realizar o ensaio de movimentação foi elaborada uma pista de teste (Figura 8) em um aviário comercial no período do vazio sanitário (tempo necessário para a limpeza e a desinfecção do aviário – em torno de 21 dias). Esta pista foi elaborada nas dimensões de 3,0m de comprimento e 60cm de largura. Além disso, foi acrescentado um adicional de carga de 2,5kg objetivando simular um valor aproximado para o peso dos equipamentos do sensor ambiental e da estrutura robótica final. Para cada tipo de motor foram realizados três movimentos retilíneos uniformes na pista de teste. Diversos autores propõem diferentes formas de avaliação da movimentação de robôs, mas em comum propõem a análise em uma trajetória especificada (única) (GARGANTA, 2023; Fu et al., 2019). Esses autores não definem a quantidade de movimentos necessários nessa trajetória para avaliação. Neste trabalho optou-se por executar o robô em uma trajetória especificada e com três movimentos retilíneos devido as imperfeições da cama de frango no deslocamento do robô.



**Figura 8.** Pista de locomoção e teste dos motores. Fonte: autores do projeto.

O que se procurou avaliar neste ensaio foi a capacidade de deslocamento do robô sobre dois aspectos: 1) arranque (start) e 2) movimento constante até atingir o final da pista (para ambos os casos: com e sem adicional de carga). Para isso foi elaborado um único algoritmo de controle de movimento (mesmo valor de rotação) aplicado nos diferentes motores; o fluxograma desse algoritmo é apresentado na Figura 9 e o código fonte no ANEXO B. O resultado do ensaio permitiu compreender tanto o tempo de deslocamento entre o início e o final da pista quanto o desempenho da motorização.



**Figura 9.** Algoritmo de movimentação do robô.

Os resultados do tempo do deslocamento do robô (em minutos e segundos) nas quatro motorizações são apresentadas na Tabela 4 (movimento sem adicional de carga e movimento com o adicional de carga).

**Tabela 4.** Resultados do tempo de deslocamento sem adicional de carga

| Motores           | Com adicional de carga |     |     |        |           | Sem adicional de carga |      |      |        |           |
|-------------------|------------------------|-----|-----|--------|-----------|------------------------|------|------|--------|-----------|
|                   | Ensaio                 |     |     | Médias |           | Ensaio                 |      |      | Médias |           |
|                   | 1                      | 2   | 3   | TM     | VL<br>m/s | 1                      | 2    | 3    | TM     | VL<br>m/s |
| DC de 80rpm       | 25s                    | 26s | 29s | 27s    | 0,11      | -                      | -    | -    | -      | -         |
| N20 de 300rpm     | 18s                    | 21s | 19s | 19s    | 0,16      | -                      | 225s | 252s | 185s   | 0,02      |
| 25ga 370 de 12rpm | 100s                   | 96s | 99s | 98s    | 0,03      | 200s                   | 204s | 202s | 202s   | 0,01      |
| 25ga 371 de 26rpm | 37s                    | 38s | 37s | 37s    | 0,08      | 41s                    | 38s  | 40s  | 39s    | 0,08      |

TM: tempo de deslocamento; VL: velocidade de deslocamento

O deslocamento realizado sem adicional de carga apresentou resultado satisfatório para todos os quatro motores pois todos conseguiram realizar o movimento da estrutura do robô do ponto inicial (0m) até o ponto final (3m). O motor N20 (de 300rpm) apresentou o menor tempo (0min 19s) de realização do deslocamento com maior velocidade de 0,16m/s enquanto, o motor 25ga 370 (de 12rpm) apresentou o maior tempo (1min 38s) com uma velocidade de 0,03m/s conforme esperado devido a sua RPM.

O deslocamento realizado com adicional de carga apresentou resultados satisfatórios para os motores 25ga 370 de 12rpm e 26rpm e insatisfatórios para os motores DC 80rpm e N20 de 300rpm. Isso deve ao fato de que o motor DC 80rpm não conseguiu realizar o arranque do robô permanecendo parado nas tentativas realizadas e o motor N20 de 300rpm não conseguiu realizar o arranque na primeira tentativa, obtendo êxito nas demais, porém consumindo um tempo muito elevado para realizar o deslocamento. Além disso, após a execução dos ensaios de teste um dos quatro motores N20 apresentou vazamento de óleo indicando que ele fez um esforço maior que o previsto o que provavelmente danificou sua estrutura interna (ELETRONICS, 2018).

Conclui-se que os motores 25ga 370 de 12rpm e 25ga 370 de 26rpm foram os únicos que conseguiram apresentar resultados satisfatórios nos ensaios

realizados (o motor DC de 80rpm não conseguiu executar o deslocamento do robô com adicional de carga e o motor N20 de 300rpm não conseguiu realizar um dos três ensaios com adicional de carga) tornando-os aptos para execução no aviário. Contudo faz-se necessário realizar novos experimentos que determinem o quanto a sua velocidade de execução interfere no convívio com os frangos. Assim, foi proposto como próximo trabalho uma análise da “Distância de Fuga” dos animais (DF), em suas diferentes fases de criação, para determinar o quanto estes dois motores causam impacto no seu deslocamento durante atuação no aviário e podem evitar a amontoamento, e consequentemente comprometer o bem-estar dos animais. Deve-se considerar que entre os motores avaliados a velocidade variou entre 0,03m/s e 0,08m/s (sem adicional de carga) e entre 0,01m/s e 0,08m/s (com adicional de carga).

Por fim, o quinto protótipo se mostrou suficiente para se deslocar com estabilidade, ter espaço interno suficiente para acomodar seus componentes e módulo de sensor ambiental. Porém, da forma em que foi concebido apresentou altura superior as linhas de comedouro (altura do robô: 30cm e altura mínima das linhas de comedouro: 22cm), dificultando a passagem por baixo das linhas, tendo que contorná-las obrigatoriamente; além disso, mantinha seus motores expostos na parte inferior ao que os tornava sujeitos aos dejetos da cama comprometendo seu funcionamento. Com essas limitações de campo de acordo com o manejo dos aviários partiu-se para uma nova prototipação.

### **Sexto protótipo**

O sexto e último protótipo (Figura 10) foi construído com uma evolução tecnológica que foi a troca do microcontrolador por um microcomputador. Os protótipos anteriores foram suficientes para determinar a bateria, motorização e rodas porém, a complexidade do ambiente demonstrou a necessidade da utilização de tecnologias mais robustas, como visão computacional, para determinar, por exemplo, o método de deslocamento do robô no aviário. Para isso, trocou-se o microcontrolador Wemos Wifi ESP8266 + AtMega328p pelo microcomputador NVIDIA® Jetson Nano™ Developer Kit (Nvidia, Santa Clara, Califórnia, Estados Unidos da América), que foi adicionado num sistema de detecção de distâncias baseado em sensor de luz de 360° (Light Detection and Ranging, modelo RP LiDAR

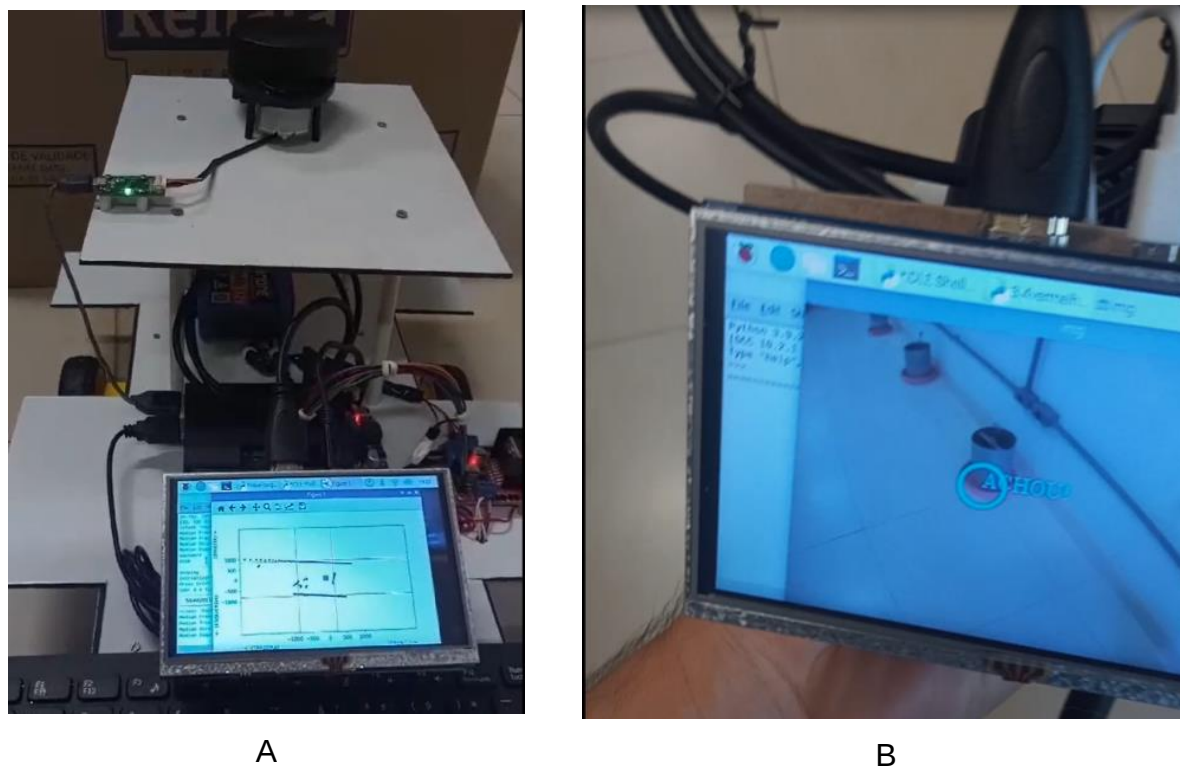
A1 [Slamtec, Shanghai, China]) e a câmera modelo Samsung Np350xbe Ba96-07238a (Samsung, Yeongtong-gu, Coreia do Sul).



**Figura 10.** Sexto protótipo: visão externa.

O uso do LiDAR foi suficiente para determinar uma visão 2D das distâncias dos objetos em torno do robô em um raio de 360°. O sensor LiDAR emite pulsos de luz que atingem objetos e, posteriormente, detecta o intervalo dos pulsos que são refletidos de volta. A partir do intervalo entre o primeiro e o segundo pulso é possível realizar a medição do intervalo de tempo que o pulso leva para fazer esse trajeto e assim calcular a distância em relação aos objetos em sua volta. Cada leitura do LiDAR retorna um vetor com três elementos (qualidade, angulo, distância). Para determinar uma posição de um objeto refletido dentro de um mapa basta obter o valor do cosseno da posição X e o valor do seno da posição Y (ambos expressos em radianos) (função *def lidarRP1()* existente no ANEXO C).

A câmera permitiu visualizar o ambiente reconhecendo objetos utilizando a biblioteca *OpenCV* em *Python*. Considerando comedouros de frangos especificamente de pratos na cor laranja (essa foi uma limitação desse experimento tendo em vista que existem pratos em outras cores) foi possível utilizar a *OpenCV* para identificar essa cor no vídeo em tempo real. As limitações neste caso são grandes pois qualquer outro objeto de cor laranja seria identificado como comedouro (Figura 11) (função *def task\_camera4()* existente no ANEXO D).



**Figura 11.** Sexto protótipo. A: mapeamento das distâncias pelo LiDAR; B: identificação de corredores com a visão computacional.

#### 4.3.2 Modelagem 3D e implementação física

A modelagem da estrutura robótica foi realizada no software *TinkerCad*®<sup>3</sup>, a homologação da modelagem foi atualizada no *AutoCAD 2020*®, ambos da empresa *AutoDesk*. A estrutura foi baseada na modelagem proposta por Feng e Wang (2020) (que dividiram a modelagem do robô de desinfecção de ambiente em quatro partes que permitiram interdependência entre os componentes: compartimento de navegação, unidade de desinfecção, unidade de monitoração e controle inteligente) tendo sua modelagem dividida em uma estrutura constituída em três partes (plataforma, corpo e bagageiro):

- **plataforma:** responsável por suportar as rodas, motores, baterias e microcomputador;

<sup>3</sup> Disponível em: tinkercad.com

- **corpo:** responsável pelas partes estruturais laterais de suporte do robô e fixação dos sensores de deslocamento (LiDAR) e câmera; e
- **bagageiro:** responsável por permitir o acoplamento do dispositivo de análise sensorial (módulo Sensor Ambiental).

Objetivando distribuir a carga de trabalho de processamento e consumo de energia a estrutura robótica foi esquematizada como uma plataforma escalável para módulos eletrônicos possuindo sua própria fonte de energia e microcomputador específico para realizar os movimentos de deslocamento pelo aviário. O Módulo Sensor Ambiental é um dispositivo a parte da estrutura robótica com seu circuito elétrico e eletrônico independente. A estrutura robótica serve como um veículo que transporta este dispositivo no aviário podendo ter conexão com ele ou serem unidades independentes. As dimensões e comparações com robôs existentes é apresentado na tabela 5.



**Tabela 5.** Dimensões dos robôs na avicultura.

| <b>Robô</b>  | <b>Comp.</b> | <b>Altura</b> | <b>Largura</b> | <b>Peso</b> | <b>Detalhamento</b>                                                                                                                                                                                      |
|--------------|--------------|---------------|----------------|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| RobôFrango   | 58cm         | 22cm          | 36cm           | 8,420kg     | quatro rodas motorizadas e controladas por dois driver de ponte H L298N                                                                                                                                  |
| PoultryBot   | 110cm        | 45cm          | 55cm           | 45,00kg     | três rodas pneumáticas motorizadas controladas pelo driver Roboteq AX3300 (VROEGINDEWEIJ et al., 2018)                                                                                                   |
| Lavicole     | 170cm        | 450cm         | 120cm          | 1300kg      | dois pares de esteiras pois comportam o peso dos motores que lançam água e detergente sobre alta pressão, possuindo um motor da Honda de 22cv alimentado por gasolina (Lavicole Robot, 2020)             |
| Gasmetric    | 40cm         | 40cm          | 40cm           | N.I.        | extensível sobre cabos de aço que direcionam sua movimentação autônoma pelo aviário realizando medições ambientais em várias posições verticais (descendo do teto até próximo ao chão) (Gasmetric. 2016) |
| Spoutinc Nav | 63cm         | 18cm          | 56cm           | 12kg        | motorização nas quatro rodas controlado por driver controlador (Spoutinic Nav, 2016)                                                                                                                     |
| ChickenBoy   | 60cm         | 20cm          | 25cm           | 2,250kg     | deslocado por trilho suspenso pelo aviário (Ren et. Al, 2020)                                                                                                                                            |

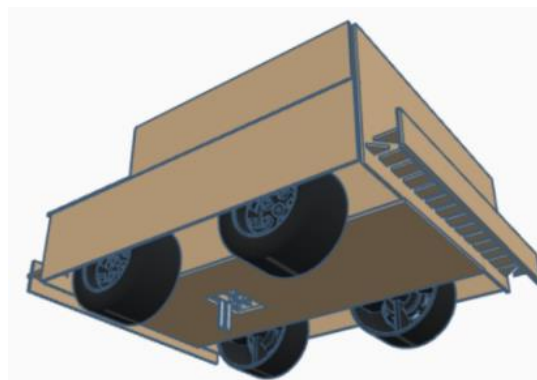
Continuação Tabela 5.

| Robô                | Comp. | Altura | Largura | Peso | Detalhamento                                                                                                                               |
|---------------------|-------|--------|---------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| OctopusRobot        | 140cm | 80cm   | 112cm   | 80Kg | quatro rodas e alimentado por uma bateria de 12v (possui uma autonomia até 10horas) possui navegação autônoma ou manual (Ren et. Al, 2020) |
| N.I. não informado. |       |        |         |      |                                                                                                                                            |

A Figura 12 apresenta a visão externa da sexta versão do robô. Em (A) é apresentado a parte frontal da estrutura composta por um para-choque emborrachado para evitar contato com os animais; acima um sensor LiDAR para detectar as linhas de comedouro e logo abaixo uma câmera de vídeo para visão computacional (modelo Samsung Np350xbe Ba96-07238a [Samsung, Yeongtong-gu, Coreia do Sul]); na base superior (bagageiro) está acoplado o módulo Sensor Ambiental. Em (B) é apresentado a visão frontal onde destaca-se o LiDAR e a câmera. Em (C) é apresentado a visão inferior-traseira da estrutura com a presença de outro para-choque emborrachado, e a presença das quatro rodas que ficam protegidas por uma saia que compõe a lateral do robô.



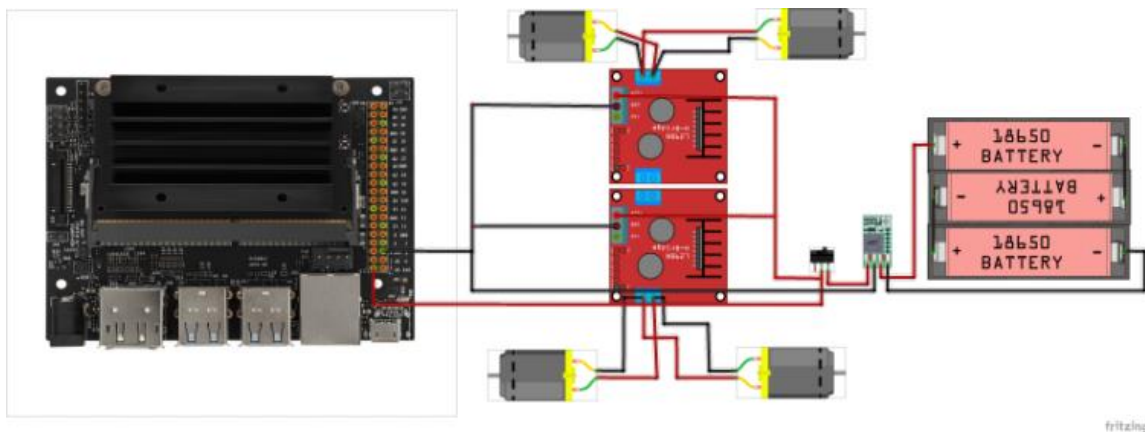
A



B

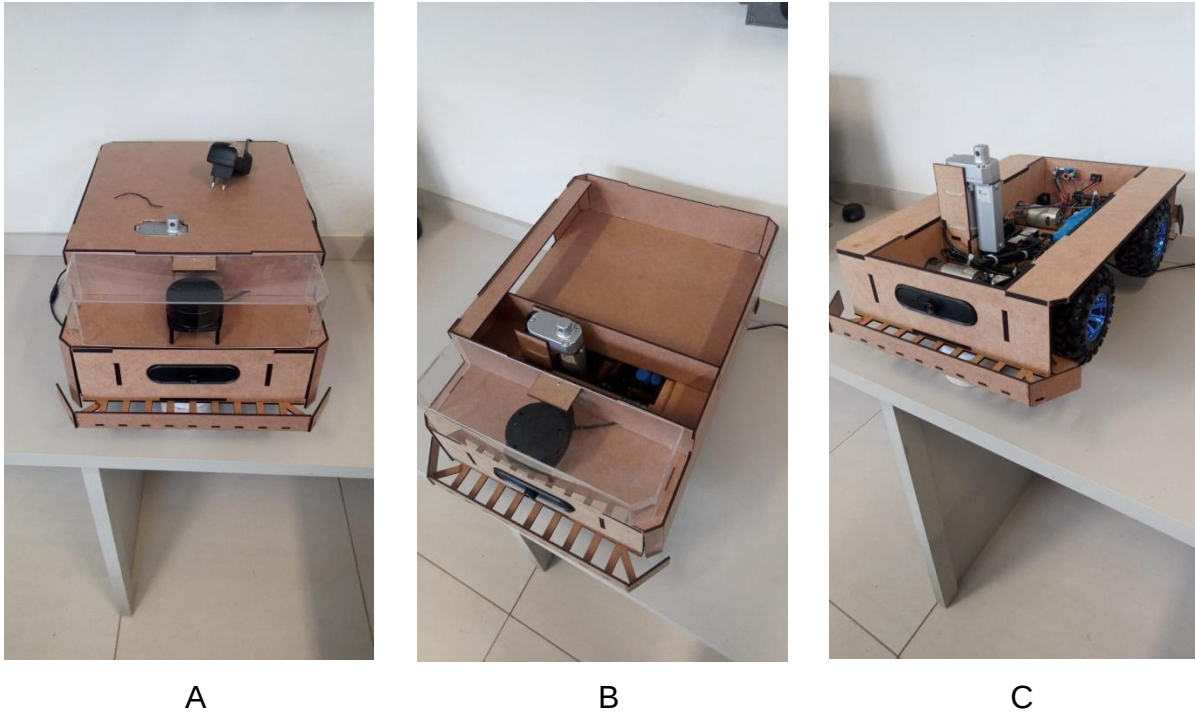
**Figura 12.** Visão externa da modelagem 3D da estrutura robótica: A) Inferior-Traseira.

A distribuição dos componentes eletrônicos internamente deu-se de acordo com a disponibilidade espacial dos componentes e distribuição em seu esquema elétrico e também orientado pelo centro de gravidade do robô. A Figura 13 apresenta o esquema elétrico da motorização (elaborado no software Fritzing versão 0.9.3) em A e em B a modelagem da distribuição espacial destes componentes no modelo 3D.



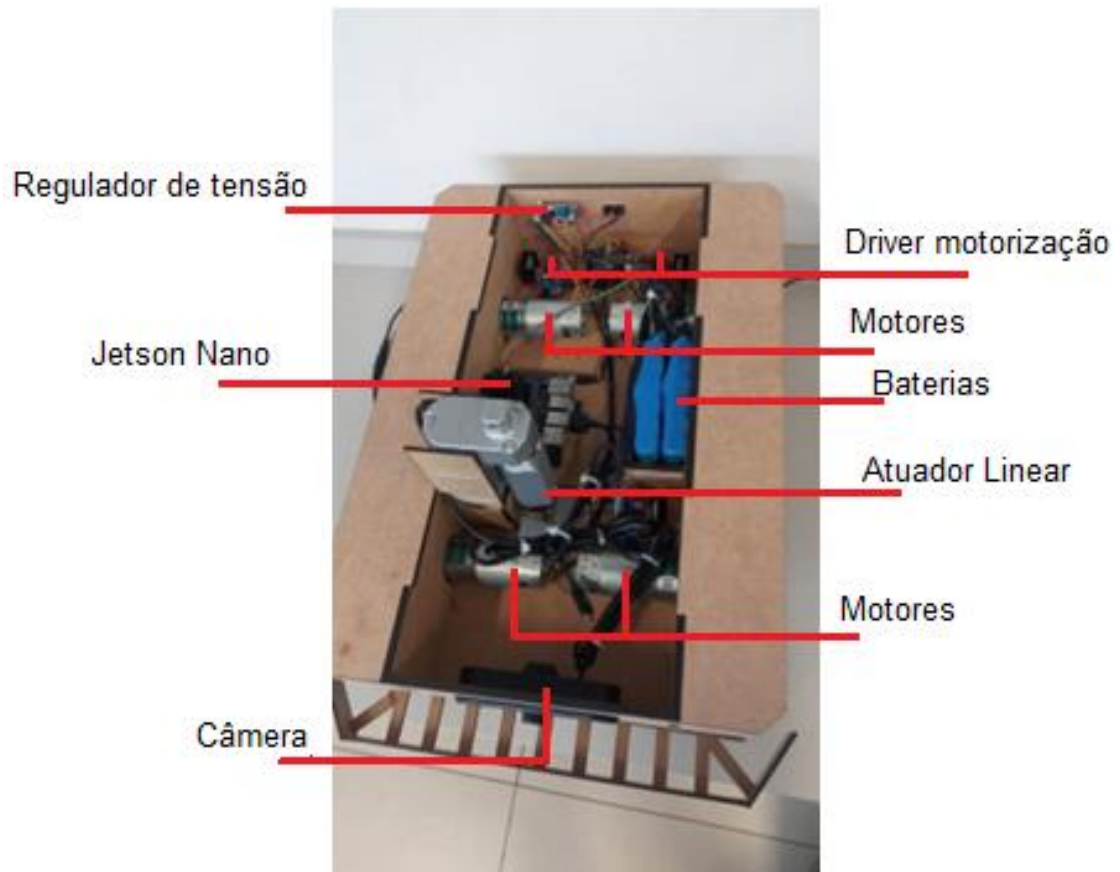
**Figura 13.** Visão interna da modelagem da estrutura robótica: Esquema elétrico da motorização

A modelagem 3D possibilitou a fabricação da estrutura robótica que foi realizado em MDF (Medium Density Fiberboard) na espessura de 3mm e 6mm (base para motores e rodas). A escolha deste material foi em função de sua maleabilidade, baixo peso e rápido custo de produção. As dimensões da modelagem 3D foram mantidas na máquina cortadora a laser. O produto final apresentou o peso de 8,420Kg (com as baterias, motores, rodas, Módulo Ambiental e componentes eletrônicos incluídos). A Figura 14 apresenta o protótipo construído.



**Figura 14.** Visão externa física da estrutura robótica: A) Frontal B) Frontal (sem tampa do compartimento do módulo Sensor Ambiental) C) Interna.

Os componentes internos foram distribuídos de acordo com a modelagem apresentada no circuito elétrico e sua implementação física é apresentada na Figura 15.



**Figura 15.** Distribuição dos componentes eletrônicos.

A tabela 6 apresenta os componentes eletrônicos (hardware) utilizados na construção da estrutura robótica. Foram utilizados componentes eletrônicos como microcomputador, sensores e atuadores. Todo o software foi processado pelo microcomputador NVIDIA® Jetson Nano™ Developer Kit (Nvidia, Santa Clara, Califórnia, Estados Unidos da América) e programado na linguagem de programação Python 3.11.2.

**Tabela 6.** Componentes eletrônicos da motorização da estrutura robótica.

| <b>Componente (quantidade)</b>     | <b>Descrição</b>                                              |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Microcomputador (1)                | NVIDIA® Jetson Nano™ Developer Kit                            |
| Driver manipulação dos motores (2) | Ponte H L298N                                                 |
| Motorização das rodas (4)          | Motor 12v de 26RPM                                            |
| Bateria (4)                        | Li-Ion <i>Kedanone</i> 6x18650 recarregável<br>50000mAh       |
| Rodas (4)                          | Roda 127mm x 65mm                                             |
| Atuador linear (1)                 | 12v 70mm 1200N                                                |
| Sensor umidade (1)                 | GC-58                                                         |
| Câmera visão computacional (1)     | Samsung Np350xbe Ba96-07238a                                  |
| Sensor LiDAR (1)                   | A1M8, alcance de 0.13 a 8 m, 360 graus                        |
| Regulador de tensão (1)            | LM2596 input: 3,5-40v output: 1,5-35v 2A<br>nominal 3A máxima |

#### 4.3.3 Codificação e experimento em campo

O sistema operacional utilizado foi o Ubuntu versão 20.04.6 LTS (Focal Fossa) adaptado para plataforma *Advanced RISC Machine* (ARM) A codificação foi implementada na linguagem de programação Python (versão 2.7.18). A escolha desta linguagem se deu por conta: a) ser compatível com o microcomputador NVIDIA® Jetson Nano™ Developer Kit; b) possuir compatibilidade com um conjunto de bibliotecas de manipulação do hardware utilizado neste projeto; c) ser compatível com uma *Integrated Development Environment* (IDE) de uso profissional (*Visual Studio Code* versão 1.88.1) (ANEXO E). O método construtivo do código seguiu a prototipação evolutiva seguida por versionamentos. A codificação foi dividida em quatro etapas, sendo:

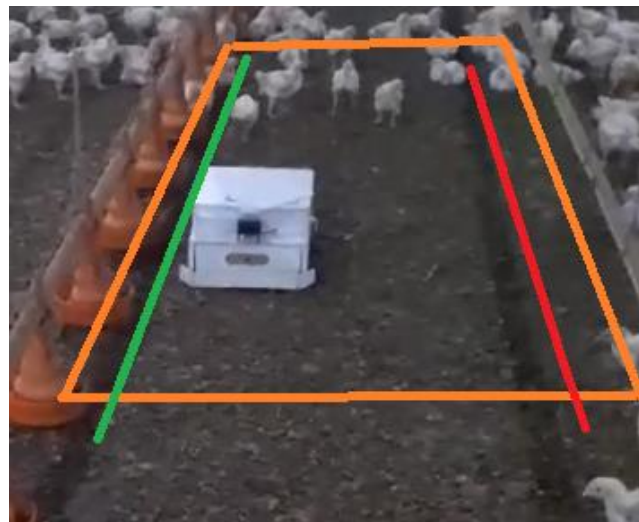
- **motorização:** um programa na linguagem Python foi codificado para manipular os quatro motores de 12v e suas velocidades de execuções com a utilização de duas pontes HL298N (uma controlou as duas rodas do lado esquerdo do robô e a outra as outras duas do lado direito). Foram construídas quatro funções que nortearam o movimento da estrutura robótica: para frente, para trás, para esquerda, para direita e parar a movimentação (funções *def stop()*, *def toForward()*, *def toBackward()*, *def toLeft()* e *def toRight()* no ANEXO E);

- **detecção de distâncias:** o programa foi incrementado com a função de detecção de distâncias de objetos no seu deslocamento onde foi utilizado o sensor LiDAR. Vroegindeweij et al. (2018) utilizaram um filtro de partículas com a utilização de um único sensor de medição de distância do tipo LiDAR que identificava a presença de obstáculos na trajetória, desta forma, a trajetória era mantida, mas os obstáculos evitados. Análises de distância realizadas na revisão da literatura demonstraram que uma distância de até 20cm era suficiente para evitar colisões com obstáculos (VROEGINDEWEIJ, 2018). Há trabalhos correlatos que versam sobre diferentes formas de técnicas de navegação e prevenção de obstáculos (PANDEY; PANDEY; DR, 2017) e Ghorpade, Thakare e Doiphode (2017) que apresentam um método utilizando o sensor LiDAR que extrai informações espaciais da nuvem de pontos do laser usando métodos de segmentação e agrupamento; os resultados destes trabalhos sugerem uma distância de 0,20m a 0,30m em distâncias de até 100m. Estes trabalhos corroboram com Vroegindeweij et al. (2018). Portanto, o LiDAR foi utilizado neste projeto com a distância mínima de 20cm para objetos a sua frente (fnção *def lidarRP1()* no ANEXO E);
- **Coloração (pintura do robô):** As cores (devido aos diferentes comprimentos de suas ondas perante a luz), especialmente as claras, podem afetar o comportamento, o bem-estar e o desempenho das aves (GENC, OZENTURK, 2024; NELSON et al., 2022; LI et al., 2019; Liu et al., 2017). Há uma preferência dos frangos pela cor branca (SIRIANI, 2022) pois estes animais possuem maior sensibilidade nos espectros de 350nm à 700nm e, além disso, a cor branca possui comprimento de onda entre 400nm e 700nm. De acordo com Siriani (2022) a cor branca representa um alto estímulo nos animais na percepção do ambiente, pois estimula todo o campo de visão das aves (RIBER, 2015; PRESCOTT, WATHES, 2010). Desta forma o robô foi pintando na cor branca;
- **movimentação controlada:** o deslocamento da estrutura robótica foi orientado pelas fileiras das linhas de comedouro dos animais e orientado pelas medidas obtidas pelo sensor LiDAR. Foi determinado que o deslocamento da estrutura robótica ficaria centrada em limites máximos e mínimos de distância da linha de comedouro: máximo entre 45-55cm e mínimo 25-35cm. Estas distâncias foram escolhidas observando tentativas de

deslocamento da estrutura robótica entre as linhas de comedouro de modo a manter uma distância segura da linha de bebedouro (paralela a de comedouro) e dos pratos do comedouro (desenho esquemático na Figura 16). De acordo com as especificações apresentadas por Johnson e Godwin (2015), que também determinaram medidas de segurança de navegabilidade à esquerda e à direita a partir das leituras dos sensores ultrassônicos, foi possível estabelecer o caminho de deslocamento como uma faixa ideal de distância para a linha de comedouro entre 30-50cm  $\pm 5$ cm (função def lidarRP1() existente no Anexo E).



A



B

**Figura 16.** Modelagem das distâncias de navegação da estrutura robótica orientada pela linha de comedouro. A: descrição das distâncias e B: visão em campo (verde: mínimo de 25-35cm e vermelho: máximo de 45-55cm).

Para o percorrimento do robô no aviário foram realizados três testes de deslocamento da estrutura robótica do início ao final do aviário (percorrendo as três partições) e o robô foi executado por controle remoto. Os seguintes tempos médios (tempos médios para cada partição sofrem fortes oscilações por conta dos diferentes estados da cama em cada parte do aviário) (hh:mm:ss):

- 1ª partição (45m): 00:25:32 (velocidade média: 0,030m/s);
- 2ª partição (45m): 00:23:52 (velocidade média: 0,032m/s);
- 3ª partição (45m): 00:24:02 (velocidade média: 0,031m/s); e
- tempo total (135m): 01:13:26 (velocidade média final de 0,031 m/s);

#### **4.4 Conclusões e considerações finais**

A hipótese deste trabalho foi comprovada tendo em vista que foi possível construir uma estrutura robótica móvel utilizando os equipamentos eletrônicos de prototipação rápida, permitindo a sua execução em um aviário comercial de frangos de corte. Desta forma foi possível identificar os componentes para a estrutura da robótica: rodas de 130mm, com 42mm de largura de pneu e emborrachada com garras; bateria de Li-Ion de tensão 12v e carga de 50000mAh; motor DC 12v 25ga 370 (12-25 kgf/cm) controlado por uma ponte H L298N; sensor RP1 LiDAR; e câmera modelo Samsung Np350xbe Ba96-07238a (Samsung, Yeongtong-gu, Coreia do Sul). O algoritmo de execução foi construído e implantado no robô que possibilitou a execução dele no aviário. A movimentação foi realizada em toda a extensão do aviário e os componentes mostraram-se robustos sem sofrer avarias.

#### **Agradecimentos**

A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), por meio do projeto número 2022/0744-2, pelo financiamento do projeto para compra de todos os equipamentos utilizados nesta pesquisa.

#### **Referências**

ABREU, L. H. P.; Yanagi Junior, T.; Bahuti, M.; Julio, Y. F. Hernández; Ferraz, P. F. P. Artificial neural networks for the prediction of physiological and productive variables of broilers. *Engenharia Agrícola*, v.40, p.1-9, 2020. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v40n1p1-9/2020>.

BAO, Jun; XIE, Qiuju. Artificial intelligence in animal farming: a systematic literature review. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 331, p. 129956, jan. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129956>.

BECKER, João Luiz. *Estatística Básica: transformando dados em informação*. Porto Alegre: Bookman, 2015. 488 p.

Chang, C.L.; Xie, B.X. Visual Guidance and Egg Collection Scheme for a Smart Poultry Robot for Free-Range Farms. *Sensors*, [S.L.], v. 20, n. 22, p. 6624, 19 Nov. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/s20226624>.

DEPURU, Bharani Kumar; PUTSALA, Sreekanth; MISHRA, Pragya. Automating poultry farm management with artificial intelligence: real-time detection and tracking of broiler chickens for enhanced and efficient health monitoring. *Tropical Animal Health And Production*, [S.L.], v. 56, n. 2, p. 56-75, 12 fev. 2024. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11250-024-03922-2>.

FÁVERO, Luiz Paulo et al. *Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

FRANZO, Giovanni; LEGNARDI, Matteo; FAUSTINI, Giulia; TUCCIARONE, Claudia Maria; CECCHINATO, Mattia. When Everything Becomes Bigger: big data for big poultry production. *Animals*, [S.L.], v. 13, n. 11, p. 1804, 30 maio 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ani13111804>.

FU, Cheng; JING, Bai; HUIYU, Wang; XIAOGUANG, Xie. Reducing the Energy Consumption of a Palletizing Robot through RobotStudio. 2019 Chinese Control And Decision Conference (Ccdc), [S.L.], v. 1, n. 1, p. 1-1, jun. 2019. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/ccdc.2019.8832986>.

GARGANTA, Gonçalo Rendeiro Brochado. *Protótipos de robots móveis com diferentes configurações de locomoção*. 2023. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2023.

GENC, Murat; OZENTURK, Ugur. The effect of worker clothing color on stress in laying hens. *Archives Animal Breeding*, [S.L.], v. 67, n. 2, p. 145-151, 5 abr. 2024. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/aab-67-145-2024>.

GHORPADE, Deepali; THAKARE, Anuradha D.; DOIPHODE, Sunil. Obstacle Detection and Avoidance Algorithm for Autonomous Mobile Robot using 2D LiDAR. 2017 International Conference On Computing, Communication, Control And Automation (Iccubea), [S.L.], v. 1, n. 1, p. 180-187, ago. 2017. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/iccubea.2017.8463846>.

HELLICKSON, M. A.; WALKER, J. N. *Ventilation of agriculture structures*. Michigan: ASAE, 1983. 372p.

JOHNSON, Joe; GODWIN, D. Jesu. Indoor navigation of mobile robot using fuzzy logic controller. 2015 3Rd International Conference On Signal Processing, Communication And Networking (Icscn), [S.L.], mar. 2015. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/icscn.2015.7219873>.

KOPLER, Idan; MARCHAIM, Uri; TIKÁSZ, Ildikó E.; OPALIŃSKI, Sebastian; KOKIN, Eugen; MALLINGER, Kevin; NEUBAUER, Thomas; GUNNARSSON, Stefan; SOERENSEN, Claus; PHILLIPS, Clive J. C.. Farmers' Perspectives of the Benefits and Risks in Precision Livestock Farming in the EU Pig and Poultry Sectors. *Animals*, [S.L.], v. 13, n. 18, p. 2868, 9 set. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ani13182868>.

ŁEBKOWSKI, Andrzej. Temperature, Overcharge and Short-Circuit Studies of Batteries used in Electric Vehicles. *Przegląd Elektrotechniczny*, [S.L.], v. 1, n. 5, p. 69-75, 5 maio 2017. Wydawnictwo SIGMA-NOT, sp. z.o.o.. <http://dx.doi.org/10.15199/48.2017.05.13>.

LI, G.; LI, B.; ZHAO, Y.; SHI, Z.; LIU, Y.; ZHENG, W.. Layer pullet pReferências for light colors of light-emitting diodes. *Animal*, [S.L.], v. 13, n. 6, p. 1245-1251, 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1017/s1751731118002537>.

LIU, K.; XIN, H.; SEKHON, J.; WANG, T. Effect of fluorescent vs. poultry-specific light-emitting diode lights on production performance and egg quality of W-36 laying hens. *Poultry Science*, v. 97, pp. 834-844, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps/pex371>.

MACARI, M.; Furlan, R. L. *Ambiência na produção de aves em clima tropical. Ambiência na produção de aves em clima tropical*. Piracicaba: FUNEP, p. 31-87. 2001.

MONTALCINI, Camille Marie; VOELKL, Bernhard; GÓMEZ, Yamenah; GANTNER, Michael; TOSCANO, Michael J.. Evaluation of an Active LF Tracking System and Data Processing Methods for Livestock Precision Farming in the Poultry Sector. *Sensors*, [S.L.], v. 22, n. 2, p. 659, 15 jan. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/s22020659>.

MONTOYA, Juan David Patiño; MARÍN, Carlos Leonardo Guerra; GUTIÉRREZ, Jaime Mosquera. Comportamiento productivo y económico de gallinas de postura Hy-Line Brown en semipastoreo con la inclusión de dos tipos de dietas. *Revista Universidad Católica de Oriente*, [S.L.], v. 31, n. 46, p. 127-145, 8 maio 2021. Universidad Catolica de Oriente. <http://dx.doi.org/10.47286/01211463.322>.

OLEJNIK, Katarzyna; POPIELA, Ewa; OPALIŃSKI, Sebastian. Emerging Precision Management Methods in Poultry Sector. *Agriculture*, [S.L.], v. 12, n. 5, p. 718, 18 maio 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture12050718>.

PANDEY, Anish; PANDEY, Shalini; DR, Parhi. Mobile Robot Navigation and Obstacle Avoidance Techniques: a review. *International Robotics & Automation Journal*, [S.L.], v. 2, n. 3, p. 23-35, 23 maio 2017. MedCrave Group, LLC. <http://dx.doi.org/10.15406/iratj.2017.02.00023>.

NELSON, Jill R.; BRAY, Joey L.; DELABBIO, Juliette; ARCHER, Gregory S.. Light emitting diode (LED) color and broiler growth: effect of supplementing blue/green led to white led light on broiler growth, stress, and welfare. *Poultry Science*, [S.L.], v. 99, n. 7, p. 3519-3524, jul. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psj.2020.04.020>.

PAIVA, Cláudio Sérgio Medeiros; FREIRE, Djacyr Magna Cabral; CECATTI, José Guilherme. Modelos Aditivos Generalizados para Posição, Escala e Forma (GAMLSS) na Modelagem de Curvas de Referência. *Revista Brasileira de Ciências da Saúde*, João Pessoa, Pb, v. 12, n. 1, p. 289-310, ago. 2008.

PARAJULI, P.; Huang, Y.; Tabler, T.; Purswell, J.L.; Dubien, J.L.; Zhao, Y. Comparative Evaluation of Poultry-Human and Poultry-Robot Avoidance Distances. *Transactions of the Asabe*, [S.L.], v. 63, n. 2, p. 477-484, 2020. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). <http://dx.doi.org/10.13031/trans.13644>.

PARK, M.; Britton, D.; Daley, W.; McMurray, G; Navaei, M.; Samoylov, A. Artificial intelligence, sensors, robots, and transportation systems drive an innovative future for poultry broiler and breeder management. *Animal Frontiers*, [S.L.], v. 12, n. 2, p. 40-48, 1Apr. 2022. Oxford University Press (OUP).

PRESCOTT, N.; WATHES, C. Spectral sensitivity of the domestic fowl (*Gallus g. domesticus*), *British Poultry Science*, v. 40, p. 332-339, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1080/00071669987412>.

PRIVA, M.; Pavithraa, K.; Devi, P.; Sureshkumar, V. Smart poultry farm incorporating GSM and IoT. *International Research Journal of Engineering and Technology (Irjet)*, Ahmedabad, India, v. 3, n. 8, p. 3186-3190, Mar. 2021.

RIBER, Anja B.. Effects of color of light on pReferências, performance, and welfare in broilers. *Poultry Science*, [S.L.], v. 94, n. 8, p. 1767-1775, ago. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pev174>.

REN, G. et al. Agricultural robotics research applicable to poultry production: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 169, p. 105216, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105216>.

RIGBY, R. A.; STASINOPOULOS, D. M.. Generalized additive models for location, scale and shape (with discussion). *Journal Of The Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, [S.L.], v. 54, n. 3, p. 507-554, jun. 2005. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-9876.2005.00510.x>.

SIRIANI, Allan Lincoln Rodrigues. *PREFERÊNCIA DE GALINHAS PARA DIFERENTES COMPRIMENTOS DE ONDA DE LUZ USANDO DEEP LEARNING*. 2022. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronegócio e Desenvolvimento, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Tupã - Sp, 2022.

SHAPIRO, S.S., Wilk, M.B. 1965. An Analysis of variance test for normatily (complete samples). *Biometrika* 52:591-611. Disponível em <<https://www.jstor.org/stable/2333709>>. Acesso em <02/22/2023>.

SHIMAKURA, Silvia. Interpretação do coeficiente de correlação. Departamento de Estatística, Universidade Federal do Paraná. CE003 - Estatística II, 2006. Disponível em: <<http://leg.ufpr.br/~silvia/CE003>>. Acesso em: <20/02/2023>.

SINGH, Maninder; KUMAR, Rajeev; TANDON, Dinesh; SOOD, Pallavi; SHARMA, Manish. Artificial Intelligence and IoT based Monitoring of Poultry Health: a review. 2020 Ieee International Conference On Communication, Networks And Satellite (Comnetsat), [S.L.], v. 1, n. 1, p. 50-54, 17 dez. 2020. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/comnetsat50391.2020.9328930>.

SUTHERLAND, Jeff; SUTHERLAND, J. J.; LUA, Nina. Scrum: A arte de fazer o dobro do trabalho na metade do tempo. Rio de Janeiro: Sextante, 2019. 256 p. Tibot Robotic. Octopus: la robotique au service de l'aviculture. 2023. Available online: <https://www.octopusbiosafety.com/> (accessed on 17 NOV 2023).

TZANIDAKIS, Christos; SIMITZIS, Panagiotis; PANAGAKIS, Panagiotis. Precision Livestock Farming (PLF) Systems: improving sustainability and efficiency of animal production. International Series In Operations Research & Management Science, [S.L.], p. 285-337, 2023. Springer International Publishing. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-16620-4\\_15](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-16620-4_15).

UZEDHE, Godwin O.; AKINLOYE, Benjamin O.; FEBALDE, Isaac C.. Development of an Animal Farm Robotic Feeding System. Tropical Journal Of Science And Technology, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 14-22, 2023. Credence Press Limited. <http://dx.doi.org/10.47524/tjst.v4i1.15>.

VROEGINDEWEIJ, B.; Blaauw, S.; Ijsselmuiden, M.M.J.; Henten, E.J.V. Evaluation of the performance of PoultryBot, an autonomous mobile robotic platform for poultry houses. Biosystems Engineering, v. 174, n. 1, p. 295-315, Oct. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.07.015>.

WU, Dihua; CUI, Di; ZHOU, Mingchuan; YING, Yibin. Information perception in modern poultry farming: a review. Computers And Electronics In Agriculture, [S.L.], v. 199, p. 107131, ago. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2022.107131>.

YUAN, Jin; JI, Wei; FENG, Qingchun. Robots and Autonomous Machines for Agriculture Production. Basel, Switzerland: Mdpi, 2023. 522 p. Disponível em: [https://mdpi-res.com/bookfiles/book/7738/Robots\\_and\\_Autonomous\\_Machines\\_for\\_Agriculture\\_Production.pdf?v=1710859530](https://mdpi-res.com/bookfiles/book/7738/Robots_and_Autonomous_Machines_for_Agriculture_Production.pdf?v=1710859530). Acesso em: 25 mar. 2024.

## 5 HOW DO ESCAPE DISTANCE BEHAVIOR OF BROILER CHICKENS CHANGE IN RESPONSE TO A MOBILE ROBOT MOVING AT TWO DIFFERENT SPEEDS?

Glauber da Rocha Balthazar<sup>a,b,\*</sup>, Robson Mateus Freitas Silveira<sup>a</sup> and Iran José Oliveira da Silva<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Ambience Research Center, Department of Biosystems Engineering - Luiz de Queiroz College of Agriculture, University of São Paulo (ESALQ/USP)

<sup>b</sup> Federal Institute of Education, Science and Technology of São Paulo (IFSP) R. Heitor Lacerda Guedes, 1000 - Cidade Satélite Íris, Campinas - SP, 13059-581

\* Correspondence: glauber.balthazar@usp.br or glauber.balthazar@ifsp.edu.br

**Simple Summary:** The adoption of information technologies in animal farming has been growing significantly. Nevertheless, many of these technologies are still relatively new, and there is limited research on how they impact animals' well-being. For instance, the use of robots might influence how animals perceive their habitat, potentially viewing them as intrusive elements, similar to predators or threats. Such perception can induce stress among animals, directly impacting their productivity. In broiler chickens, the perception of threat is marked by their distance and speed of escape in response to unfamiliar stimuli, such as the introduction of a robot. This study examined the escape distance undertaken by broiler chickens in the presence of a robot. Two different treatments, involving varying speeds of robot movement, were analyzed. The first treatment (lower speed of movement of the robot) determined a shorter escape distance but a greater number of collisions between robot and animal; the second (higher speed) determined greater escape distance but with fewer collisions. These results were compared with existing studies and confirmed that the escape distance is related to the robot's speed of movement, but demonstrated that this relationship is inverse when analyzing the number of collisions that the robot causes to animals.

**Citation:** Balthazar, G.d.R.; Silveira, R.M.F.; Silva, I.J.O.d. How Do Escape Distance Behavior Behaviors of Broiler Chickens Change in Response to a Mobile Robot Moving at Two Different Speeds? *Animals* **2024**, *14*, x. <https://doi.org/10.3390/xxxxx>

Academic Editors: Alessandro Dal Bosco and Sabine Gebhardt-Henrich

Received: 11 January 2024

Revised: 12 February 2024

Accepted: 22 February 2024

Published: date



**Copyright:** © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Abstract:** In poultry farming, robots are considered by birds as intruder elements to their environment, because animals escape due to their movement. This escape is measured using the Escape Distance (ED) technique. This study analyzes the behavior of animals in relation to their ED through the use of a robot with two speeds: 12rpm and 26rpm. The objective is to understand whether the speeds present variations in ED and their implications for animal stress. A broiler cycle was analyzed (six weeks) through the introduction of the robot weekly. ED analyses were carried out on static images generated from footage of the robot running. Results indicate higher escape distance rates ( $p < 0.05$ ) peaking midway through the production cycle, notably in the third week. Conversely, the final weeks saw the lowest ED, with the most significant reduction occurring in the last week. This pattern indicates a gradual escalation of ED up to the fourth week, followed by a subsequent decline. Despite RPM12 having shown low ED results, it did not show enough ED to move the animals away from their path of travel, causing bumps and collisions. RPM26 showed higher ED in all breeding phases, but showed ED with no bumps and collisions.

**Keywords.** Poultry behavior in response to robots; Robot in poultry farm; Robot movement speed in aviary; Poultry escape distance in the presence of robots.

## 5.1 Introduction

Modern poultry farming has benefited from the use of various digital technologies which improve animal production due to technologies associated with Precision Livestock Farm [1,2]. These technologies positively influence both daily management and the obtaining of productive data which supply statistic models and, consequently, may point out production bottlenecks in breeding systems [3]. Furthermore, poultry production systems have undergone profound transformations in recent decades due to technological innovations promoted by Precision Livestock Farm due to the benefits produced by their economic aspects. The adoption of technologies such as Big Data, Artificial Intelligence (AI), Computer Vision, and Robotics is driven by crucial factors. These include the ability to identify and reduce losses, conduct environmental and behavioral analyses, and monitor animal welfare. Together, these aspects facilitate a deeper understanding of and solutions for productivity bottlenecks [4]. This approach enables the bridging of production gaps by integrating electronic devices with technologies that create analytical and predictive models. These models offer insights into aspects of animal production that are otherwise complex and challenging to comprehend [5]. In relation to robotics and artificial intelligence, there are no established legal mechanisms to enforce legislation that defines boundaries or regulations for the deployment of these technologies, despite their considerable potential to influence human employment. For instance, robotics can be deployed to relieve humans from working in unhealthy conditions, sparing them from tasks that may harm their well-being. However, when applied to managerial roles, this integration can lead to job displacement, raising concerns about increased unemployment [6,7,8]. Recent studies highlight a variety of robots equipped to perform tasks such as collecting eggs from aviary floors, turning over litter, sanitizing environments, and encouraging bird movement [9,10,11]. In terms of monitoring, robots outfitted with high-precision environmental sensors are capable of assessing thermal and atmospheric conditions crucial for the physiological development and welfare of animals.

Among these technologies, robotics has intensified emerged as one of the most promising in modern poultry farming, with innovations like the Poultry Hawk, Octopus and Tibot robots [12,13]. The use of robots in poultry houses has several functionalities: collecting eggs, turning or sanitizing the litter, and collecting environmental data [14]. However, these robots may be perceived by the birds as invasive, responding with fear and escape behaviors [15]. Therefore, adopting robots in aviaries is an activity that must be carried out with great caution, and must be based on aspects which can directly affect the behavior of birds, and consequently, their well-being. The insertion of robots in poultry houses can have negative effects on the production system from the point of view of bird welfare, which has been the subject of several studies [16,17,18,19,20]. These studies analyzed the Escape Distance (ED) and Escape Speed of birds in relation to the speed of movement of robots in aviaries, with the aim of understanding how to adapt robotic technology associated with the well-being of animals, aiming to prevent a situation of fear and agitation for the animals.

High robot displacement speeds are the main influencers of ED in association with the different ages of the animals (breeding weeks); however, the lack of a greater amount of research on robotics in poultry farming limits the poultry industry's reliance on this technology [17,18]. The hypothesis of this work is that different movement speeds of a robot (measured through the Rotations Per Minute [RPM] of its motorization) influence the escape distance directly, maintaining a common behavior of animals throughout the breeding cycle. For this hypothesis to occur, the habituation of the birds to the mobile robot factor was disregarded, as it was considered that by introducing the robot weekly, there would always be rejection of the birds towards the robot. It is suggested in future studies that the robot should be present daily when interacting with the animals, rather than weekly. This research introduces an innovative demonstrative study that explores the effects of varying motorization RPM speeds in a mobile robot through weekly insertions, coupled with an analysis of the animals' behavior.

The general objective was to understand, between two RPM specifications (12rpm and 26rpm), of the same type of Direct Current (DC) motor, how broiler chickens behave in the presence of a mobile robot through ED analysis. The specific objectives were: determine the ED of broiler chickens during all production phases through the pixel distance analysis technique, evaluating how the engine speed specification affected the ED; evaluate which RPM promotes greater ED in animals and relate it to the experience obtained in moving the robot around the aviary in order to understand the animals' behavior; and compare the reproducibility of two RPM methods of a mobile robot in a commercial poultry farm.

## **5.2 Materials and Methods**

### **5.2.1 Location, characterization of the study area and ethical regulations**

The research was submitted, analyzed and approved by the Ethics Committee on the Use of Animals of the University of São Paulo, under protocol number 7364090322. The execution of this project was carried out in a commercial production of broiler chickens of the Cobb lineage, with a bed of wood shavings, located in a municipality in the State of São Paulo, Brazil (Latitude: -23.0068, Longitude: -46.8387, 23° 0' 24" South, 46° 50' 19" West), altitude 771m and characterized as a humid subtropical climate with Köppen-Geiger climate classification: CF. The aviary used was of the negative pressure type and had dimensions of 135×14×3m (L×W×H), composed of evaporative plates, exhaust fans, capacity for 20 thousand animals (21 thousand animals were housed at the time of the research) and had an electronic system for monitoring relative humidity and air temperature (inoBram brand, model SMAAI 3 PE) which acted automatically.

### **5.2.2 Robotic Prototyping**

A mobile robotic chassis prototype (containing two fixed axles, four DC motors and four rubberized wheels with 75mm diameter claws) was built following the architecture of a 4WD (4-Wheel Drive) vehicle. A single type of DC motor was established, however with different RPMs. These motors were powered by a 12v battery and controlled by the same type of micro-controller and drive controller (H-bridge). This robot was developed to move in uniform rectilinear movement [12] and, for this purpose, a single algorithm was coded in the C++ language to move the wheels. The micro-controller used was the Wemos Wifi R3 ATmega2560 + ESP8266 and the controller driver was the HL298n. The engine model used was the DC 12v 25ga 370 Engine (XYT Motor Manufacture brand) and the rotation specifications were 12rpm and 26rpm [The specification of the engine torque model, the wheels and the robotic chassis was the subject of a work study previously carried out [21] which analyzed four different types of motors and concluded which had sufficient torque for use in commercial broiler poultry farms.] (Figure 1). The dimensions of this prototype were: 40cm length, 30cm width, 26cm height and 650g in weight.



**Figure 1.** Physical prototype of the robotic structure, where: a) side view; and b) top internal view.

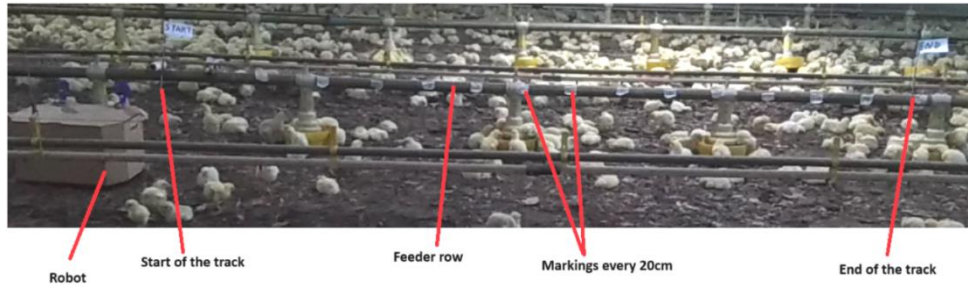
### 5.2.3 Data collection

The research was carried out over 7 non-consecutive days over six weeks, which completes a broiler breeding cycle. For each week, two engine rotations were analyzed (treatments RPM12 and RPM26). As an insertion methodology for the robot (considered by the animals a foreign element to the aviary), its introduction was adopted by initially standing in the aviary for 30 minutes so that the animals could get used to its presence [17,18,19,20]. Finally, displacement analyses were performed weekly. Each weekly analysis was carried out in three executions of test displacements of the robot (test displacement1, test displacement2 and test displacement3). The experimental cycle of circulating the robot in the environment was carried out for 30 seconds with 5 minutes intervals between tests. The behaviors of four animals (random, totaling 144 animals in the production cycle) were analyzed weekly for each type of rotation assessed. Related studies [13,17,18,19,20] do not specify an ideal number of animals for analysis as these studies analyzed the distance of the robotic element in relation to a group of animals. In this research, it was decided to perform analyses on four animals per experiment for standardization and behavioral assessments.

### 5.2.4 Escape distance analysis

The method defined to analyze the escape distance was established from an adaptation of previous models presented in related works on the use of robotics in poultry farming [16,17,18,19,20]. The method consisted of video recording the robot's movement through the aviary as well as the dispersion of the animals as they approach. Then, instances of the video were converted into static images (frames) in which distance analyses were carried out between pixels (conversion of pixels to centimeters) to understand the distance between the animal and the approaching robot. The pixels of this image were counted from starting to ending point, then the result found was compared with a pre-determined pixel count that represented a real scale measurement in centimeters. Finally, a measuring tape was placed on the feeder line to determine fixed markings on the robot's trajectory, serving as a scale for subsequent pixel counting.

In this way, a linear space of 3m was delimited (called the roadway, which was positioned parallel to a row of feeders) and markings were made every 20cm from the starting point (0m) to the end point (3m). This allowed the visualization of a runway on which the robot traveled a limited distance (Figure 2). Thus, the robot performed the same route, but for each execution the motors were exchanged for each respective treatment (RPM12 and RPM26). There was an interval of 30 minutes between the treatments for the animals to calm down and return to their natural behavior before another execution, as recommended in literature [17,18,19,20]. The robot's movement was carried out using an algorithm coded in C++ language that was implemented in the microcontroller present in the robotic chassis, making the robot's movement autonomous.



**Figure 2.** Robot runway in the commercial poultry farm.

The two engine models (treatments: RPM12 and RPM26) were exchanged for each test performed. In order to evaluate the effects of understanding the speed of engine rotations, the nominal speed of the engines was calculated according to the same wheel diameter of 75mm for both. Robot displacement speeds for the two treatments are presented in Table 1, where the result of the calculation of the rotational displacement of the motor without drag (through the linear speed calculation and with the robot outside the chicken litter [22]) and carrying out the calculation of the rotational displacement of the engine with drag (by calculating the average speed with the robot acting on the chicken litter [22]).

**Table 1.** Average values of the displacement speed of the robotic structure in a commercial poultry farm.

| Treatment | Linear Speed       | Average speed      |                     |
|-----------|--------------------|--------------------|---------------------|
|           | Travel speed (m/s) | Travel speed (m/s) | Distance moved (cm) |
| RPM12     | 0.08               | 0.04               | 95 ± 0.05           |
| RPM26     | 0.18               | 0.07               | 110 ± 0.09          |

$$v = 2 \times \pi \times r \times \frac{w}{60}$$

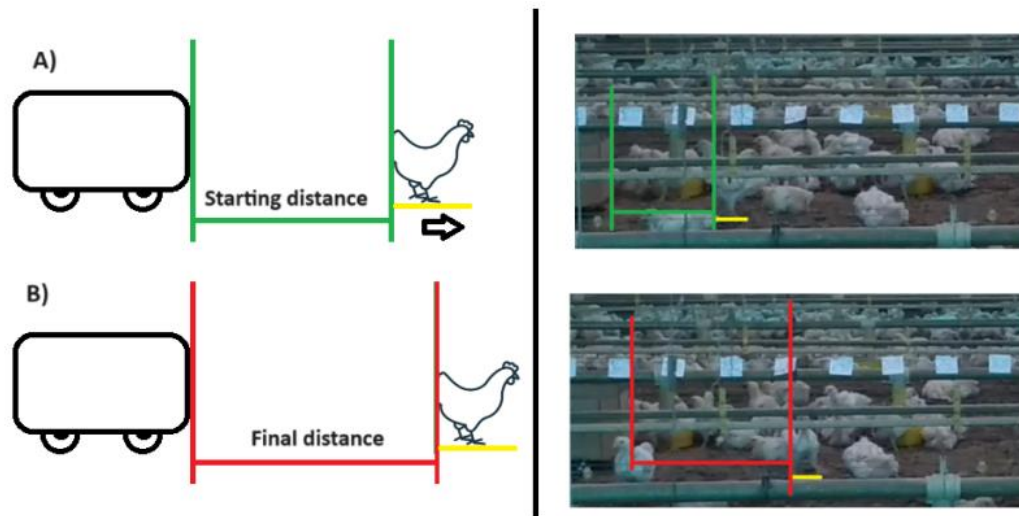
In which:  $v$  = linear speed (meters/seconds);  $r$  = radius (meters);  $w$  = angular velocity (expressed in RPM).

$$v = \frac{d}{t}$$

In which:  $v$  = average speed (meters/seconds);  $d$  = distance (meters);  $t$  = time (seconds).

All tests were filmed by a smartphone camera (High Definition 1280 × 720 pixels), Android 8.1 operating system, Asus brand (Taiwan), Zen Phone model, which remained fixed on a pedestal at a fixed point 4m away from the track. The ED analysis was performed by generating two static images, one capturing the starting point and the other depicting the endpoint of the animal's movement. The starting point was determined by the exact moment in which the animal felt uncomfortable (animal fled to the opposite direction from the robot) with the robot's movement and escaped (the distance from the robot to the animal was noted - Initial Distance); the final point was when the animal ended its escape by remaining still or carrying out some behavioral activity common to its species (eating, drinking water, stretching its wings and feet, cleaning feathers, lying down, etc.) without showing discomfort with the presence of the robot that continued moving (noting the distance from the robot to the animal - Final Distance) (Figure 3). The Initial Distance from the starting point was then subtracted from the Final Distance from the end point in order to determine the value in cm of escape performed by the animal. Only the escape displacements of the animals in the front part of the robot were considered, and in parallel, the fixed markings (scale) on the feeder line displacements of the animals which were perpendicular to the feeder line were disregarded as there was no way to calculate the

distance of pixels due to the fact that this model allowed analyzing only pixel values horizontal to the camera positioning.



**Figure 3.** ED analysis. A) Animal starts escaping (in yellow) and its distance from the robot is measured (green); B) Animal finishes escaping (yellow) and its distance to the robot is measured.

From the recorded markings, the distance was determined by counting the pixels between the robot and the animal (Figure 3 in green and red). In total, 288 images were evaluated, 48 images in each week of bird rearing (24 for RPM12 and 24 for RPM26). A total of 144 animals were observed in all images and it is not possible to specify whether there were repeated animals in this quantity, as the animals were analyzed randomly according to their escape behavior. The metric tool for analyzing the distance between pixels used was the free software JRuler [Available at: <https://jruler.software.informer.com/3.1/>] in version 3.1. Finally, the distance from the robot to the animal at the starting point (Figure 3 in green) was added to the distance from the robot to the animal at the end point (Figure 3 in red).

### 5.2.5 Statistical analysis

The statistical analysis was divided into three stages. All analyses were performed in SPSS® [23].

Step 1: Data Engineering techniques were used to carry out a complete and robust analysis of the data, including the identification and treatment of outliers, aiming to ensure the integrity and reliability of the data. Subsequently, the normality of the residuals was verified using the Shapiro-Wilk test ( $p > 0.05$ ) [24] and homoscedasticity using the Levene test [17] ( $p > 0.05$ ). Analysis of data correlation using the Pearson test ( $p > 0.05$ ) (adopting the “high” standard above 0.8 and significance of 95% [26]) made it possible to understand how the two treatments (RPM12 and RPM26) were related and whether there was correspondence with the literature analysis.

Step 2: The data was subjected to analysis of variance (ANOVA) to assess weeks, type of rotation and interaction effects. Averages were compared using the Tukey test (5% probability of error). The general linear model [14] used in the analysis is presented:

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + R_j + (S_i \times R_j) + e_{ijk}$$

In which:

$Y_{ijk}$  = responses of the set of dependent variables;

$\mu$  = overall average;

$S_i$  = effect of the  $i$ -th week ( $i = 1, 2, \dots, 6$ );

$R_j$  = effect of the  $j$ -th type of rotation ( $j = \text{RPM12 and RPM26}$ );  $S_i \times R_j$  = effect of interactions of number of weeks and rotations;

$e_{ijk}$  = random error

Step 3: The intra-class correlation analysis between the two types of rotation allowed evaluating the reliability (reproducibility) between treatments. The classification of Intraclass Correlation Coefficient (ICC) values was based on [27]: from 1.00 to 0.81 (excellent reproducibility); from 0.80 to 0.61 (very good); from 0.60 to 0.41 (good); from 0.40 to 0.21 (reasonable); and from 0.20 to 0.00 (poor).

### 5.2.6 Execution method

The research was carried out on 4, 11, 18, 25, 32 and 39 covering six weeks (42 days) of a rearing cycle of broiler chickens. For each week, two engine rotations were analyzed (treatments RPM12 and RPM26). Each weekly analysis was carried out in three executions of test displacements of the robot (test-displacement1, test-displacement2 and test-displacement3) and the behaviors of 4 animals (random, totaling 144 animals over the six weeks) performing escape (ED1, ED2, ED3 and ED4).

## 5.3 Results and discussion

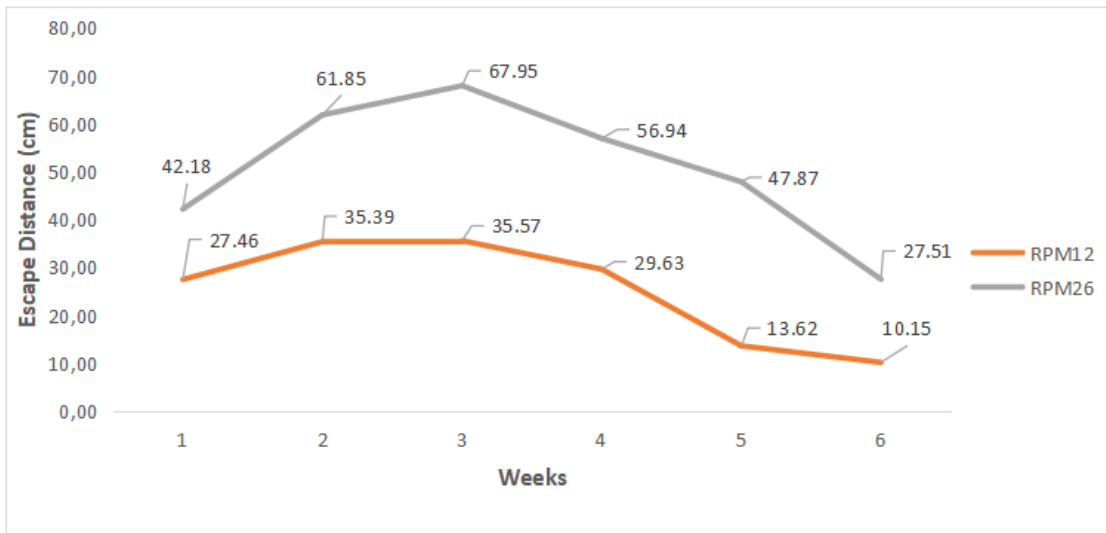
Table 2 presents the descriptive measures of the research over the six weeks and presents the averages and standard deviation.

**Table 2.** Values found for the Escape distance of animals per treatment.

| Week | Treatment | Verified values (cm) |       |       |       |       | AVG   | SD    |
|------|-----------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|      |           | Executions           | ED1   | ED2   | ED3   | ED4   |       |       |
| 1    | RPM12     | DT1                  | 12.08 | 16.17 | 10.54 | 10.54 | 27.46 | 14.13 |
|      |           | DT2                  | 27.13 | 45.01 | 45.01 | 47.38 |       |       |
|      |           | DT3                  | 20.91 | 23.87 | 29.79 | 41.11 |       |       |
|      | RPM26     | DT1                  | 15.46 | 26.18 | 54.37 | 64.26 | 42.17 | 16.80 |
|      |           | DT2                  | 67.34 | 42.35 | 48.09 | 51.41 |       |       |
|      |           | DT3                  | 41.16 | 16.47 | 33.52 | 45.49 |       |       |
|      | Totals:   |                      |       |       |       |       | 34.81 | 16.94 |
| 2    | RPM12     | DT1                  | 22.11 | 24.58 | 28.34 | 21.55 | 35.38 | 13.47 |
|      |           | DT2                  | 38.39 | 29.86 | 22.34 | 67.86 |       |       |
|      |           | DT3                  | 41.65 | 43.72 | 41.81 | 42.43 |       |       |
|      | RPM26     | DT1                  | 48.55 | 60.62 | 57.59 | 49.28 | 61.85 | 15.65 |
|      |           | DT2                  | 84.81 | 47.71 | 48.72 | 73.64 |       |       |
|      |           | DT3                  | 90.31 | 46.02 | 76.95 | 58.04 |       |       |
|      | Totals:   |                      |       |       |       |       | 48.62 | 19.66 |
| 3    | RPM12     | DT1                  | 15.39 | 42.16 | 42.48 | 22.03 | 35.57 | 9     |
|      |           | DT2                  | 42.16 | 47.92 | 34.38 | 35.85 |       |       |
|      |           | DT3                  | 37.37 | 34.38 | 38.24 | 34.49 |       |       |
|      | RPM26     | DT1                  | 22.14 | 70.12 | 64.46 | 86.22 | 67.94 | 18.89 |
|      |           | DT2                  | 63.32 | 62.77 | 95.03 | 91.55 |       |       |
|      |           | DT3                  | 58.64 | 62.83 | 65.82 | 72.46 |       |       |
|      | Totals:   |                      |       |       |       |       | 51.75 | 21.97 |
| 4    | RPM12     | DT1                  | 25.94 | 57.47 | 32.44 | 29.26 | 29.63 | 12.06 |
|      |           | DT2                  | 19.39 | 37.13 | 16.44 | 38.49 |       |       |
|      |           | DT3                  | 22.53 | 35.18 | 29.27 | 12.06 |       |       |
|      | RPM26     | DT1                  | 28.62 | 48.73 | 48.06 | 84.93 | 56.93 | 17.64 |
|      |           | DT2                  | 81.69 | 35.46 | 56.93 | 67.81 |       |       |
|      |           | DT3                  | 62.14 | 50.77 | 44.45 | 73.69 |       |       |
|      | Totals:   |                      |       |       |       |       | 43.28 | 20.32 |
| 5    | RPM12     | DT1                  | 11.53 | 21.29 | 7.76  | 5.41  | 13.62 | 7.78  |
|      |           | DT2                  | 23.20 | 6.70  | 18.66 | 8.87  |       |       |
|      |           | DT3                  | 8.75  | 24.76 | 22.37 | 4.14  |       |       |
|      | RPM26     | DT1                  | 38.04 | 28.88 | 34.39 | 49.63 | 47.86 | 14.57 |
|      |           | DT2                  | 63.44 | 35.63 | 60.42 | 65.10 |       |       |
|      |           | DT3                  | 57.57 | 35.31 | 69.48 | 36.54 |       |       |
|      | Totals:   |                      |       |       |       |       | 30.74 | 20.89 |
| 6    | RPM12     | DT1                  | 18.36 | 17.10 | 15.19 | 12.02 | 10.14 | 5.09  |
|      |           | DT2                  | 11.86 | 12.57 | 6.50  | 9.13  |       |       |
|      |           | DT3                  | 5.66  | 3.76  | 5.03  | 4.60  |       |       |
|      | RPM26     | DT1                  | 20.55 | 24.59 | 34.86 | 31.99 | 27.51 | 5.87  |
|      |           | DT2                  | 38.38 | 26.13 | 32.36 | 24.66 |       |       |

|                                                                                  |     |       |       |       |       |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----|-------|-------|-------|-------|
|                                                                                  | DT3 | 29.02 | 19.34 | 25.90 | 22.40 |
| Total:                                                                           |     |       |       | 18.83 | 10.37 |
| Total RPM12:                                                                     |     |       |       | 25.30 | 14.43 |
| Total RPM26:                                                                     |     |       |       | 50.71 | 20.14 |
| Grand total:                                                                     |     |       |       | 38.01 | 21.62 |
| ED: Escape distance; DT: Test-displacement; AVG: Average; SD: Standard deviation |     |       |       |       |       |

Figure 4 shows the evolution of ED over the six weeks of breeding for each treatment (motor rotation).



**Figure 4.** – Average ED values presented for the treatments.

It must be considered that for the RPM12 treatment, the robotic prototype moved at a speed of 0.04 m/s, whereas in the RPM26 treatment, the speed was 0.07 m/s. This distinction is crucial for understanding why the average escape distance (ED) values at 12 rpm were lower than those observed at 26 rpm (Figure 4). The average ED value for RPM12 was 25.30cm with a standard deviation of 14.43cm and for RPM26 the average value was 50.71cm with a standard deviation of 20.14cm. The smallest ED for RPM12 was 3.76cm and the largest was 67.85cm and for RPM26 the smallest was 15.46cm and the largest was 95.03cm. The data showed normality with the result of the Shapiro-Wilk test  $p\text{-value} > 0.05$  (Table 3) and Levene  $p\text{-value} > 0.05$ .

**Table 3.** Normality test.

|            | Shapiro-Wilk | Levene  |
|------------|--------------|---------|
|            | p-value      | p-value |
| Average ED | 0.231        | 0.087   |

The result of the correlation analysis between the ED of the two treatments was a result of  $r = 0.83$ . This demonstrated that there was a strong, significant and positive correlation between the rotations evaluated. The two rotations, despite having different escape distances, displayed similar changes in escape distance behaviors. The same result was found through intra-class correlation analysis (Figure 5) between the RPM12 and RPM26 treatments to determine ED as this presented a result  $p = 0.621$  ( $p < 0.001$ ) which determined very good reproducibility ( $> 0.60$  ICC  $< 0.80$ ) (reproducibility describes the

degree of relationship between the two treatments, thus confirming the degree of correlation between them).



**Figure 5.** – Intra-class correlation coefficient for ED of broiler chickens in commercial poultry farms.

There was no interaction effect between the type of rotation and the weeks ( $P > 0.05$ ). Therefore, the effects are discussed in isolation. A higher rate of escape distance ( $P < 0.05$ ) was observed in the second, third and fourth weeks with greater significance in the third; on the other hand, a lower rate of escape distance was observed from the fifth week onwards; It is understood that there was an increasing movement of ED until the 3rd week of rearing (21 days) and subsequently there was a decrease in ED. This response pattern corroborates [19] and [20] as both observed that over time, EDs tend to decrease with the presence of the robot (authors state that animals tend to get used to the presence of objects inside the aviary and the robot is no different). In agreement, [17,18] add that the age of the animals is directly related to ED. Younger animals (more active) tend to have greater ED with the presence of the robot, whereas older animals (less active) tend to have lower ED.

This response pattern is possibly also explained by the association with the size and weight of the birds: young and lighter animals are more active, whereas adult and heavier animals are less active. During the research on the RPM12 treatment, cases of very low ED (less than 10 cm) were found, specifically in the last two weeks (Table 2). In the field, this represented a very close proximity of the robot to the animals, causing it to bump into the animals and forcing them to stand up to move out of the way. This fact is related to the trait that broiler chickens at advanced ages present greater difficulty of movement due to their body weight and also the high density of animals per square meter [20]. Nevertheless, the RPM26 treatment maintained a safe distance between the robot and the animals across all weeks of rearing, preventing contact due to its higher escape distances (ED). This was especially evident in the first three weeks, where exceptionally high ED values indicated a pronounced avoidance behavior, likely stemming from the animals' excessive fear of the robot, perceived as a threat or predator [9,10] (Table 4).

**Table 4.** Escape distance of birds according to weeks of breeding.

| <b>Week</b>                                                                          | <b>Animals</b> | <b>Average</b> | <b>Standard Error</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|-----------------------|
| 1 <sup>st</sup> week                                                                 | 24             | 34.82bc        | 3.46                  |
| 2 <sup>nd</sup> week                                                                 | 24             | 48.62ab        | 4.01                  |
| 3 <sup>rd</sup> week                                                                 | 24             | 51.76a         | 4.49                  |
| 4 <sup>th</sup> week                                                                 | 24             | 43.29abc       | 4.15                  |
| 5 <sup>th</sup> week                                                                 | 24             | 30.74cd        | 4.26                  |
| 6 <sup>th</sup> week                                                                 | 24             | 18.83d         | 2.12                  |
| a-d: different lowercase letters differ by Tukey's test with 5% probability of error |                |                |                       |

The RPM12 treatment displayed the lowest escape distance (ED) values ( $p < 0.05$ ; Table 5), confirming the hypothesis that a robot's movement speed directly influences ED (the higher the speed, the higher the ED). Nonetheless, the animals exhibited varied behaviors in response to the robot's presence within the aviary, indicating that while movement speed is a critical factor, other variables also play a significant role in shaping animal behavior in such contexts. The RPM12 treatment showed lower ED in all weeks when compared to the RPM26 treatment (Figure 4). This led to a greater adaptability of the animals to the robot's presence, without causing panic-induced dispersion. Panic is identifiable by rapid escape of one or more animals, which can spread fear to others previously undisturbed by the robot, potentially causing them to clump together. However, this low ED was not enough to keep the animals away from the robot's movement in the fifth and, mainly, in the sixth week which led to several collisions between the robot and the animals. The RPM26 treatment resulted in behaviors that suggest a heightened level of fear among the animals across all rearing weeks due to the constantly high ED values presented. Nevertheless, during the final weeks, when the animals tend to present more mobility issues, this displacement speed was enough to move the animals away from the path of the robot, avoiding collisions.

**Table 5.** Escape distance according to engine speed.

| <b>Treatment</b>                                                                  | <b>Animals</b> | <b>Average (cm)</b> | <b>Standard Error (cm)</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------|----------------------------|
| RPM12                                                                             | 72             | 25.30b              | 1.70                       |
| RPM26                                                                             | 72             | 50.72a              | 2.37                       |
| a-b: different lowercase letters differ by Tukey's test with 5% error probability |                |                     |                            |

The behavior analyzed for the RPM12 treatment demonstrated that this speed is unable to disperse the animals in the final weeks, causing collisions. These collisions can cause injuries to animals and, consequently, damage to their bodies. However, it is suggested to analyze the RPM26 treatment with daily insertions and not just weekly in order to check if the ED decreases, as a new question arises: does the ED decrease with daily insertions of the robot throughout the creation cycle instead of just weekly insertions due to the adaptability of animals as suggested in [17,18].

## 5.4 Limitations

The fact that the animals walked very slowly in the final weeks demonstrates that a greater speed of a robot does not influence greater ED in these weeks. However, it is suggested that further research focuses on other rotational speeds (above 26rpm) to analyze this hypothesis in more detail. Furthermore, another important aspect to be considered is

that, at first, the mobile robot is a novelty in the production environment. It is believed that if the robot were used daily, the ED would probably be smaller, as the robot would not be considered an intrusive element and the behavior learned by the birds would maintain a normal escape distance. Finally, it is recommended and encouraged to conduct studies evaluating prototypes with varying speeds tailored for each phase of animal husbandry. This approach aims to explore the relationship between age (animal weight), escape distance (ED), and speed (RPM).

## 5.5 Implications

This work is part of a research which aims to build a robot to work in commercial broiler poultry farms, called *RobôFrango*. The results of the 26rpm rotation were sufficient to determine an engine specification that can operate in an aviary, and to predict the impact of an intruding element on the animals' behavior within their habitat.

## 5.6 Conclusions

The behavior of the animals did not change due to the insertion of the robot as the animals showed the expected behavior (they begin their life cycle being very active [initial weeks: 1, 2 and 3] and tend to decrease their movement at the end [final weeks: 4, 5 and 6]). Each treatment presented different EDs weekly, but both were correlated with each other and with the natural movement behavior of the animals. It is concluded that the highest speed treatment (RPM26) does not cause collisions in the final weeks but presents a higher ED when compared to the other treatment (RPM12) which presents a lower ED throughout the cycle but in the final weeks collides with the animals and can cause injuries.

**Author Contributions:** Conceptualization, G.R.B. and I.J.O.S.; methodology, G.R.B., I.J.O.S. and R.M.F.S.; software, G.R.B.; validation, G.R.B., I.J.O.S.; formal analysis, G.R.B., I.J.O.S. and R.M.F.S.; investigation, G.R.B.; resources, G.R.B. and I.J.O.S.; data curation, G.R.B. and R.M.F.S.; writing—original draft preparation, G.R.B.; writing—review and editing, G.R.B., I.J.O.S., and R.M.F.S.; visualization, G.R.B., I.J.O.S. and R.M.F.S.; supervision, G.R.B., I.J.O.S. and R.M.F.S.; project administration, G.R.B.; funding acquisition, I.J.O.S. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research was funded by São Paulo State Research Support Foundation (FAPESP), grant number 2022/07442-8.

**Institutional Review Board Statement:** The animal study protocol was approved by the Ethics Committee on the Use of Animals of the University of São Paulo (protocol code 7364090322 and date of approval: Jun. 2021).

**Informed Consent Statement:** Not applicable.

**Data Availability Statement:** The datasets generated and/or analyzed during the current study are available upon request to the corresponding author.

**Conflicts of Interest:** The authors have no relevant financial or non-financial interests to disclose.

## References

1. Kopler, I.; Marchaim, U.; Tikász, I.E.; Opaliński, S.; Kokin, E.; Mallinger, K.; Neubauer, T.; Gunnarsson, S.; Soerensen, C.; Phillips, C.J.C. Farmers' Perspectives of the Benefits and Risks in Precision Livestock Farming in the EU Pig and Poultry Sectors. *Animals*, [S.L.], v. 13, n. 18, p. 2868, 9 Sep. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ani13182868>.

2. Liu, G.; Guo, H.; Ruchay, A.; Pezzuolo, A. Recent Advancements in Precision Livestock Farming. *Agriculture*, [S.L.], v. 13, n. 9, p. 1652, 22Aug. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture13091652>.
3. Castro, F.L.S.; Chai, L.; Arango, J.; Owens, C.M.; Smith, P.A.; Reichelt, S.; Dubois, C.; Menconi, A. Poultry industry paradigms: connecting the dots. *Journal Of Applied Poultry Research*, [S.L.], v. 32, n. 1, p. 100310, Mar. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.japr.2022.100310>.
4. Jiang, B.; Tang, W.; Cui, L.; Deng, X. Precision Livestock Farming Research: a global scientometric review. *Animals*, [S.L.], v. 13, n. 13, p. 2096, 24 Jun. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ani13132096>.
5. Lufyagila, B.; Machuve, D.; Clemen, T. IoT-powered system for environmental conditions monitoring in poultry house: a case of Tanzania. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, [S.L.], p. 1-12, 7 Jul. 2021. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/20421338.2021.1924348>.
6. Balaska, V.; Adamidou, Z.; Vryzas, Z.; Gasteratos, A. Sustainable Crop Protection via Robotics and Artificial Intelligence Solutions. *Machines*, [S.L.], v. 11, n. 8, p. 774, 25 Jul. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/machines11080774>.
7. Ryan, M.; Burg, S. van D.; Bogaardt, M. Identifying key ethical debates for autonomous robots in agri-food: a research agenda. *Ai And Ethics*, [S.L.], v. 2, n. 3, p. 493-507, 4 out. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s43681-021-00104-w>.
8. Sparrow, R.; Howard, M. Robots in agriculture: prospects, impacts, ethics, and policy. *Precision Agriculture*, [S.L.], v. 22, n. 3, p. 818-833, 23 Oct. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-020-09757-9>.
9. Chang, C.L.; Xie, B.X. Visual Guidance and Egg Collection Scheme for a Smart Poultry Robot for Free-Range Farms. *Sensors*, [S.L.], v. 20, n. 22, p. 6624, 19 Nov. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/s20226624>.
10. Priya, M.; Pavithraa, K.; Devi, P.; Sureshkumar, V. Smart poultry farm incorporating GSM and IoT. *International Research Journal of Engineering and Technology (Irjet)*, Ahmedabad, India, v. 3, n. 8, p. 3186-3190, Mar. 2021.
11. Park, M.; Britton, D.; Daley, W.; McMurray, G.; Navaei, M.; Samoylov, A. Artificial intelligence, sensors, robots, and transportation systems drive an innovative future for poultry broiler and breeder management. *Animal Frontiers*, [S.L.], v. 12, n. 2, p. 40-48, 1Apr. 2022. Oxford University Press (OUP).
12. Trolley System. The Poultry Hawk® Premium Trolley. 2023. Available online: <https://innovativepoultryproducts.com/poultryhawk.html> (accessed on 17 NOV 2023).

13. Tibot Robotic. Octopus: la robotique au service de l'aviculture. 2023. Available online: <https://www.octopusbiosafety.com/> (accessed on 17 NOV 2023).
14. Vroegindeweij, B.; Blaauw, S.; Ijsselmuiden, M.M.J.; Henten, E.J.V. Evaluation of the performance of PoultryBot, an autonomous mobile robotic platform for poultry houses. *Biosystems Engineering*, v. 174, n. 1, p. 295-315, Oct. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.07.015>.
15. Ren, G.; Lin, T.; Ying, Y.; Chowdhary, G.; Ting, K.C. Agricultural robotics research applicable to poultry production: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 1, n. 105216, p. 100-135, Feb. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105216>.
16. Li, Y.; Zhou, M. Study on Robotic Inspection Planning in Large-scale Chicken House. 2021 Asabe Annual International Virtual Meeting, July 12-16, 2021, [S.L.], 2021. American Society of Agricultural and Biological Engineers. <http://dx.doi.org/10.13031/aim.202100158>.
17. Parajuli, P.; Huang, Y.; Tabler, T.; Purswell, J.L.; Dubien, J.L.; Zhao, Y. Comparative Evaluation of Poultry-Human and Poultry-Robot Avoidance Distances. *Transactions of the Asabe*, [S.L.], v. 63, n. 2, p. 477-484, 2020. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). <http://dx.doi.org/10.13031/trans.13644>.
18. Parajuli, P.; Zhao, Y.; Tabler, T. Evaluating avoidance distance and fleeing speed of broilers exposed to aerial systems. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, [S.L.], v. 13, n. 6, p. 34-40, 2020. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering (IJABE)*. <http://dx.doi.org/10.25165/j.ijabe.20201306.5591>.
19. Sena, R.G.; Moura, D.; Coimbra, N.; Valentino, L. Uso da robótica no manejo de frangos de corte. XXVIII Congresso de Iniciação Científica da Unicamp. Campinas, Sp.Oct. 2020.
20. Bohlen, M.A. A robot in a cage-exploring interactions between animals and robots. *Proceedings 1999 Ieee International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation. Cira'99* (Cat. No.99Ex375), [S.L.], Aug. 2002. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/cira.1999.810051>.
21. Balthazar, G.R.; Cruz, M.V.A; Silva, I.J.O. Equipment definition for a robotic architecture of a biosensor agent applied to poultry farming – mechanical system. In: ICOTEM 2023 – International Conference On Technology Management And Operations, 2023, Vila Nova de Famalicão, Portugal. Available online: <http://icotem23.fam.ulusiada.pt/wp-content/uploads/2023/07/Conference-Programme-ICOTEM-2023.pdf> (accessed on 22 NOV 2023).
22. Jewett, J.W.; Serway, R.A. Física para cientistas e engenheiros. São Paulo: Cengage Learning, 2017. 504 p.
23. SPSS, 2023. SPSS Software | IBM. SPSS.
24. Shapiro, S. S.; WILK, M. B. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika*, [S.L.], v. 52, n. 3/4, p. 591, Dec. 1965. JSTOR. <http://dx.doi.org/10.2307/2333709>.

## **6 DESENVOLVIMENTO DE UM SENSOR PARA ANÁLISE AMBIENTAL DE AVIÁRIOS DE FRANGOS DE CORTE**

### **Resumo**

O sistema produtivo industrial de frangos de corte consiste na criação dos animais em um ambiente artificial (aviário). Esse ambiente deve proporcionar todas as condições necessárias para gerar um microclima que garanta o desenvolvimento do animal perante seus índices zootécnicos, indicadores produtivos, reprodutivos e suas capacidades genéticas. O monitoramento desse ambiente deve ser realizado em relação as variáveis ambientais que influenciam diretamente no desempenho dos animais. Este artigo apresenta o desenvolvimento de um módulo eletrônico denominado Sensor Ambiental que capta as principais variáveis de interesse para a produção de frangos de corte por meio do uso de microcontroladores e sensores de prototipação rápida. O método construtivo do Sensor Ambiental consistiu na determinação dos componentes eletrônicos por meio da análise de diversos sensores utilizando uma técnica iterativa e incremental onde após cada validação de sensor um protótipo foi construído e validado por meio da Norma Técnica 14610 e posterior análise estatística para determinação de equações de calibração na comparação entre sensor de prototipação rápida e sensores industriais. Os resultados determinaram os sensores mais compatíveis com as variáveis de interesse, suas respectivas equações de calibração com sensores industriais certificados e posterior experimentação em campo na análise destas variáveis em um aviário comercial apontou as condições existentes em um aviário comercial.

Palavras-chave: Análise ambiental frangos, Calibração sensores, Sensores prototipação rápida avicultura

### **Abstract**

The industrial production system for broiler chickens consists of raising the animals in an artificial environment (aviary). This environment must provide all the necessary conditions to generate a microclimate that guarantees the development of the animal in terms of its zootechnical indexes, productive and reproductive indicators and its genetic capabilities. Monitoring of this environment must be carried out in relation to environmental variables that directly influence the performance of the animals. This article presents the development of an electronic module called Environmental Sensor that captures the main variables of interest for the production of broiler chickens through the use of microcontrollers and rapid prototyping sensors. The construction method of the Fixed Environmental Sensor consisted of determining the electronic components through the analysis of several sensors using an iterative and incremental technique where after each sensor validation a prototype was built and validated using Technical Standard 14610 and subsequent statistical analysis to determine of calibration equations in the comparison between rapid prototyping sensors and industrial sensors. The results determined the sensors most compatible with the variables of interest, their respective calibration equations with certified industrial sensors and subsequent field experimentation in the analysis of these variables in a commercial poultry farm pointed out the conditions existing in a commercial poultry farm.

Keywords: Chicken environmental analysis, Sensor calibration, Poultry farming rapid prototyping sensors

## 6.1 Introdução

A produção de frangos de corte moderna é realizada em um ambiente artificial no qual todas as variáveis ambientais são monitoradas e controladas para o melhor desenvolvimento zootécnico dos animais de acordo com cada fase de criação. Estas variáveis são apresentadas na literatura como: temperatura do ar e sua umidade relativa, velocidade do ar, radiação térmica, presença de gases nocivos (amônia, monóxido de carbono e dióxido de carbono) e níveis de poeira (LI et al., 2024; LIMA et al., 2022; SANS et al., 2021; GUNDIM et al., 2015; SCHIASSI et al., 2015; FIGUEIRA et al., 2014; SCHIASSI, 2013; CAMPOS, 2013).

O controle destas variáveis influencia diretamente na homeostase dos animais especialmente nas fases iniciais da criação pois os animais nesta fase ainda não apresentam o sistema termo regulatório completamente desenvolvido necessitando de total controle do microclima que estão inseridos. Porém, em todas as fases é necessário manter um controle preciso das variáveis ambientais, pois, para atingir os melhores índices produtivos o animal precisa ser criado sobre condições específicas de ambiência para cada semana de criação. A falta deste controle resulta em refugagem, baixa conversão alimentar, desenvolvimento de doenças, desuniformidade do lote e maiores taxas de mortalidade (MELAK et al., 2024; QI et al., 2023; DORNELAS et al., 2023; COBB, 2019; CAMPOS, 2015; ABREU, 2011). Desta forma os aviários modernos contam com a presença de diversos sensores e equipamentos eletrônicos e automatizados que tanto monitoram quanto atuam no controle da condição ambiental, propiciando um ambiente artificial ideal para os animais.

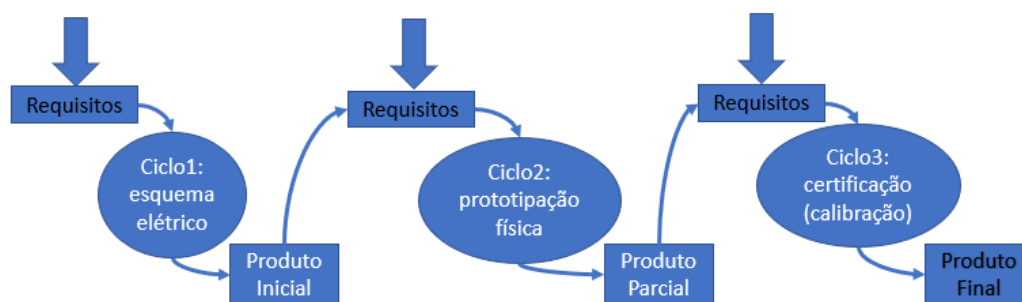
Diversas pesquisas têm surgido na intenção de aliar o monitoramento já existente a tecnologias que tornam o processo de monitoramento mais confiável e preciso (MALIKA et al., 2021; WULANDARI et al., 2021; YANG et al., 2020). As pesquisas envolvem o uso de IoT (*Internet of Things*) e computação em nuvem para a construção de equipamentos eletrônicos que consigam captar variáveis do microclima do aviário e possibilite a visualização de dados de índices produtivos para tomadas de decisão assertivas na produção. Contudo a captação das variáveis

do ambiente está fortemente relacionada a sensores que apresentem dados confiáveis e precisos com a realidade do microclima analisado. É proposto neste trabalho a validação da hipótese de que é possível construir um módulo de dispositivo eletrônico que consiga monitorar as variáveis ambientais de um aviário de frangos de corte utilizando para isso sensores e microcontroladores de prototipação rápida desde que sejam certificados com sensores industriais para que apontem precisão em suas leituras.

Objetiva-se construir um módulo eletrônico de sensoriamento ambiental (denominado Sensor Ambiental) utilizando sensores e microcontroladores de prototipação rápida para monitoramento do microclima de um aviário de frangos de corte. Como objetivos específicos, espera-se: construir o dispositivo eletrônico utilizando equipamentos de prototipação eletrônica; realizar as leituras dos dados ambientais persistindo-os em memória permanente; e certificar os dados coletados pelos sensores de prototipação rápida com sensores industriais por meio de métodos estatísticos apropriados.

## 6.2 Materiais e Métodos

O processo construtivo do Sensor Ambiental foi guiado pelo método iterativo e incremental (PRESSMAN; MAXIM, 2016). Desta forma, foram elaborados três ciclos de desenvolvimento onde cada um gerou artefatos de software (produtos) como resultados produtivos (Figura 1).



**Figura 1.** Ciclo iterativo e incremental do desenvolvimento do Sensor Ambiental.

A seguir, cada ciclo de desenvolvimento é detalhado:

- **Ciclo 1:** esquema elétrico: responsável pelo design da arquitetura eletrônica e elétrica do sensor ambiental assim como disposição dos sensores,

organização e assimetria para um contêiner que comportou os componentes; produto inicial gerado: conjunto de diagramas e modelagem 3D do sensor;

- **Ciclo 2:** prototipação física: responsável pela construção e implantação física dos sensores e do microcontrolador no contêiner; produto parcial gerado: um dispositivo físico com a devida implementação dos diagramas gerados anteriormente e do algoritmo de manipulação dos componentes eletrônicos (linguagem C++);
- **Ciclo 3:** certificação (calibração): o método utilizado para a calibração foi idealizado a partir de uma adaptação da Norma Técnica NBR 14610 (ABNT, 2000)<sup>4</sup> que determinou as seguintes premissas:
  - todos os sensores de prototipação rápida passam a ser identificados como apenas sensores e os sensores industriais como instrumento-padrão;
  - o meio térmico utilizado para a experimentação (análise em laboratório) foi o de uma caixa hermeticamente lacrada e posteriormente (análise em campo) por meio do microclima de um aviário comercial de frangos de corte com a coleta dos dados no centro geométrico do aviário;
  - análise em laboratório: o tempo de execução do ensaio e o número de amostras de coletas não é determinado pela ABNT 14610, porém, Freitas (2003) e Eurachem (2012) determinam que o valor mínimo deve ser de 10 registros; portanto foi especificado para este projeto o tempo mínimo de coleta de 300 minutos (5 horas), com intervalo de 2 minutos entre coletas gerando assim 150 valores de referência para cada Sensor e seu respectivo Instrumento-Padrão;
  - análise em campo (no aviário): foi determinado o tempo de 180 minutos (3 horas) com intervalo de 2 minutos entre coletas gerando 90 valores de referência para cada sensor - o objetivo foi avaliar o quão bem o modelo se ajustou aos dados observados verificando se as suposições subjacentes da regressão linear são atendidas;
  - foram utilizados métodos estatísticos para calibração dos Sensores com os Instrumentos-Padrões por meio dos seguintes passos: 1. coleta de dados em laboratório para cada um dos sensores em paralelo aos

---

<sup>4</sup> Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/20740/nbr14610-indicador-de-temperatura-com-sensor-calibracao-por-comparacao>

seus respectivos instrumentos-padrão; 2. análise estatística que quantificou uma relação linear entre sensor e instrumento-padrão avaliando o grau de associação entre eles por meio da correlação de Pearson; 3. adotado o seguinte padrão: compreender o nível de correlação adotando o padrão “alto” acima de 0,8 para certificação (SHIMAKURA, 2006) e de significância de 95%;

Por fim, o produto gerado neste ciclo (Produto Final) foi: um grau de confiança para os dados coletados pelo Sensor Ambiental quando estes possuíam a mesma graduação e o seu respectivo valor de referência de ajuste de curvas (Regressão Linear, por meio do método dos mínimos quadrados) para os dados coletados pelo Sensor Ambiental.

### 6.3 Execução e Análise

Para a execução deste ciclo foi realizada uma parceria com um produtor de frangos de corte da linhagem Cobb localizado na cidade de Itatiba, São Paulo, Brasil, distante cerca de 64km da capital São Paulo, localizado Latitude: -23.0068, Longitude: -46.8387, 23° 0' 24" Sul, 46° 50' 19" Oeste; de altitude 771 m; e caracterizada como clima subtropical úmido com classificação climática de Köppen-Geiger: Cfa). O aviário utilizado foi de pressão negativa com as dimensões de 135m de comprimento, por 14m de largura, pé direito de 3m, sendo composto por placas evaporativas, ventiladores do tipo exaustores e contava também com um sistema eletrônico de monitoramento de umidade relativa do ar e temperatura do ar seco (marca inoBram, modelo SMAAI 3 PE) que atuava de forma automática. Além disso, este trabalho foi submetido, analisado e aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo, sob protocolo número 7364090322.

O processo de aquisição tanto dos sensores quanto dos instrumentos-padrões se deu por meio de fomento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) sob o processo número 2022/07442-8.

O microcontrolador escolhido para o projeto foi *Wemos Mega R3* ESP8266/ATmega2560. Este microcontrolador é um híbrido com dois processadores (ATMega 2560 e ESP8266), possui um *clock* de 16Mhz e memória flash de 32Mb; além disso possui as seguintes configurações de Input/Output (I/O): 54 portas digitais sendo 13 portas *Pulse Width Modulation* (PWM), 16 portas analógicas, 2

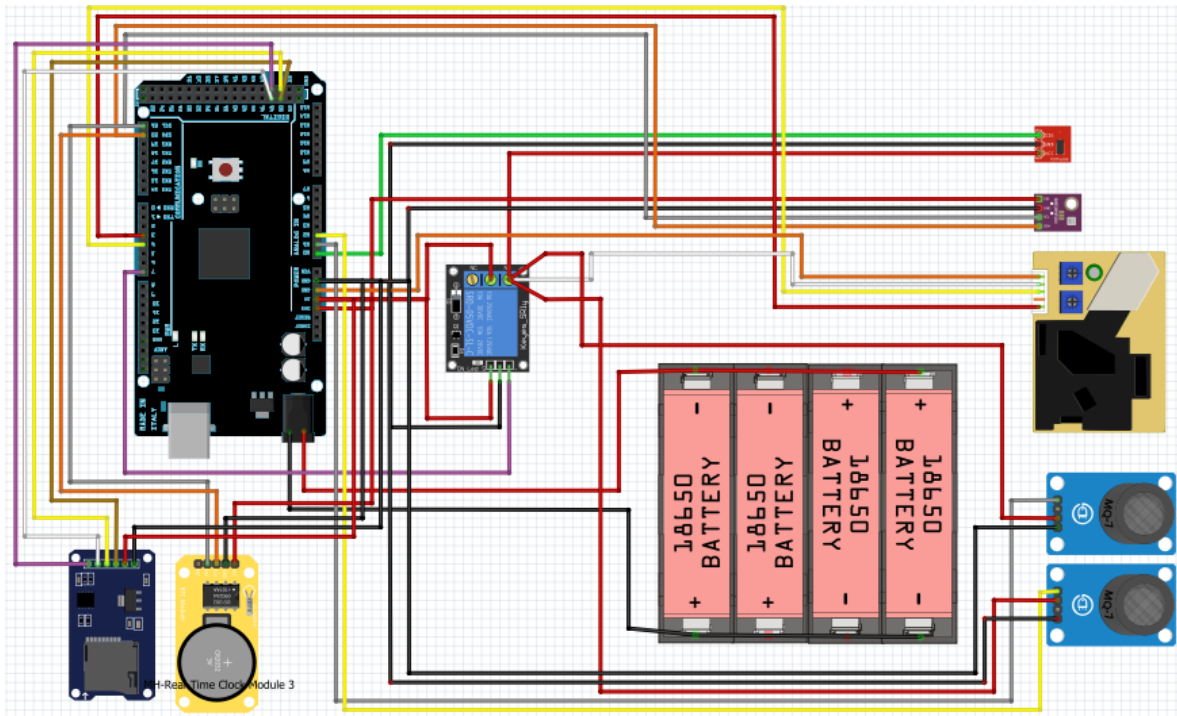
portas seriais (Tx/Rx) e 2 portas SPI e DAS/SCL. A bateria escolhida foi uma de Li-Ion de 28800mAh e 8,4v de tensão. Os Sensores foram aqueles compatíveis com a necessidade no projeto. Estes componentes são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Componentes eletrônicos utilizados no Sensor Ambiental.

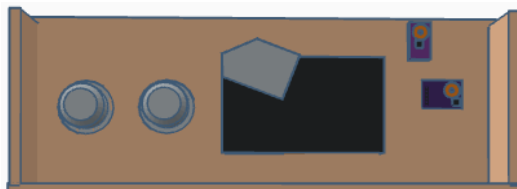
| <b>Tipo</b>                     | <b>Modelo</b>                                            |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Microcontrolador                | Wemos Mega R3 ESP8266 e ATmega2560                       |
| Bateria (alimentação)           | Bateria Li-Ion JWS 6x18650 recarregável, 8.4v e 28800mAh |
| Sensor de Temperatura e Umidade | BME/P 280                                                |
| Sensor de Monóxido de carbono   | MQ-7                                                     |
| Sensor de Amônia                | MQ137                                                    |
| Sensor de Poeira                | DSM501A                                                  |
| Sensor de Luminosidade          | TEMT6000                                                 |
| DataLogger                      | MicroSDCard                                              |
| Clock                           | Rtc Ds3231                                               |
| Relé                            | Módulo 5v, 10A e 2 canais                                |
| Sensor de Dióxido de Carbono    | MHZ 19E                                                  |

### 6.3.1 Ciclo 1: Esquema elétrico

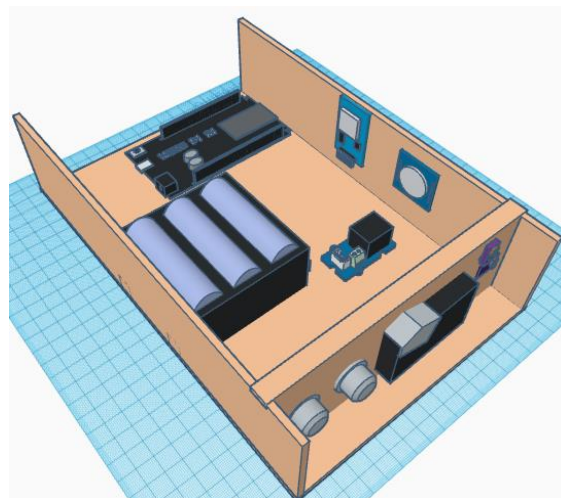
Foram gerados como produtos deste ciclo o diagrama do esquema elétrico e eletrônico do sensor (Figura 2) e sua respectiva modelagem em terceira dimensão (3D) (Figura 3) (o código fonte encontra-se nos anexos ANEXO F [código do ATmega 2560] e ANEXO G [código do ESP8266]).



**Figura 2.** Esquema elétrico do Sensor Ambiental.



A



B

**Figura 3.** Modelagem 3D do Sensor Ambiental. A) frente; B) superior.

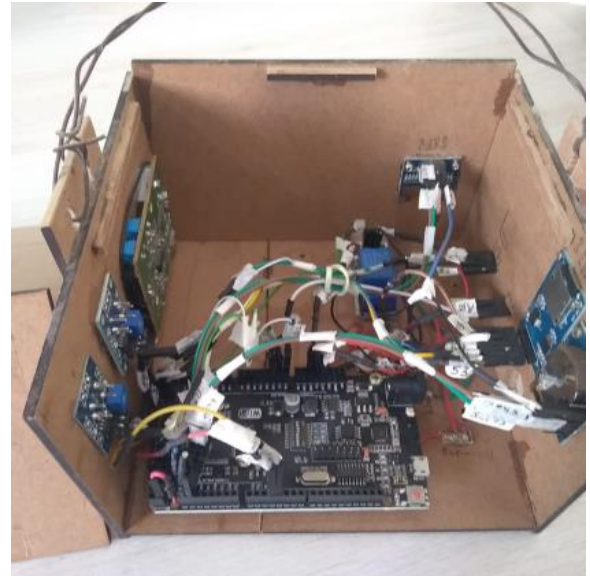
### 6.3.2 Ciclo 2: prototipação física

Foram construídos, em MDF (Medium Density Fiberboard) de 3mm de espessura, duas versões para o Sensor Ambiental. A primeira foi construída com a alimentação sendo realizada por uma fonte de corrente alternada de 117/220v convertida para contínua de 9v e 2A. O objetivo desta versão foi captar as variáveis do microclima a partir de um ponto fixo (centro geométrico) do aviário. As dimensões

deste protótipo foram: 15,5cm de comprimento, 15cm de largura e 10cm de altura. A Figura 4 apresenta as imagens deste protótipo.



A



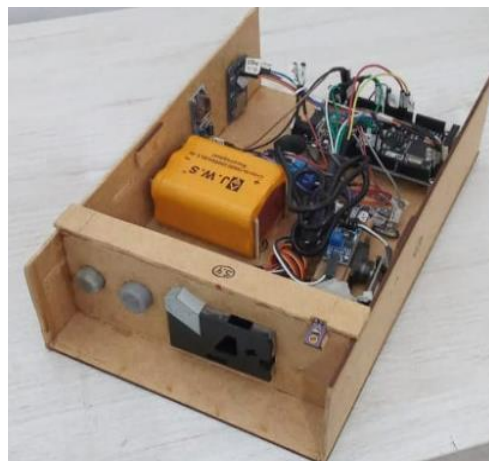
B

**Figura 4.** Prototipação física do Sensor Ambiental. A: exterior e B: interior.

A segunda versão foi construída com alimentação a partir de uma bateria de Li-Ion de 8.4v e 28800mAh. O objetivo desta versão foi captar as variáveis do microclima de pontos variáveis servindo este protótipo como um sensor portátil, que poderá ser encaixado em um sistema robótico móvel (módulo de sensoriamento para o agente biosensor). As medidas da dimensão do protótipo foram: 26cm de comprimento, 16,5cm de largura e 6,5cm de altura. A Figura 5 apresenta as imagens deste protótipo.



A



B

**Figura 5.** Prototipação física do Sensor Ambiental. A: exterior; B:interior.

### 6.3.3 Ciclo3: certificação (calibração)

Os Instrumentos-Padrões utilizados foram sensores industriais adquiridos com respectivos certificados de calibração. Os Instrumentos-Padrões utilizados para calibração são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Instrumentos-Padrões utilizados para calibração dos Sensores.

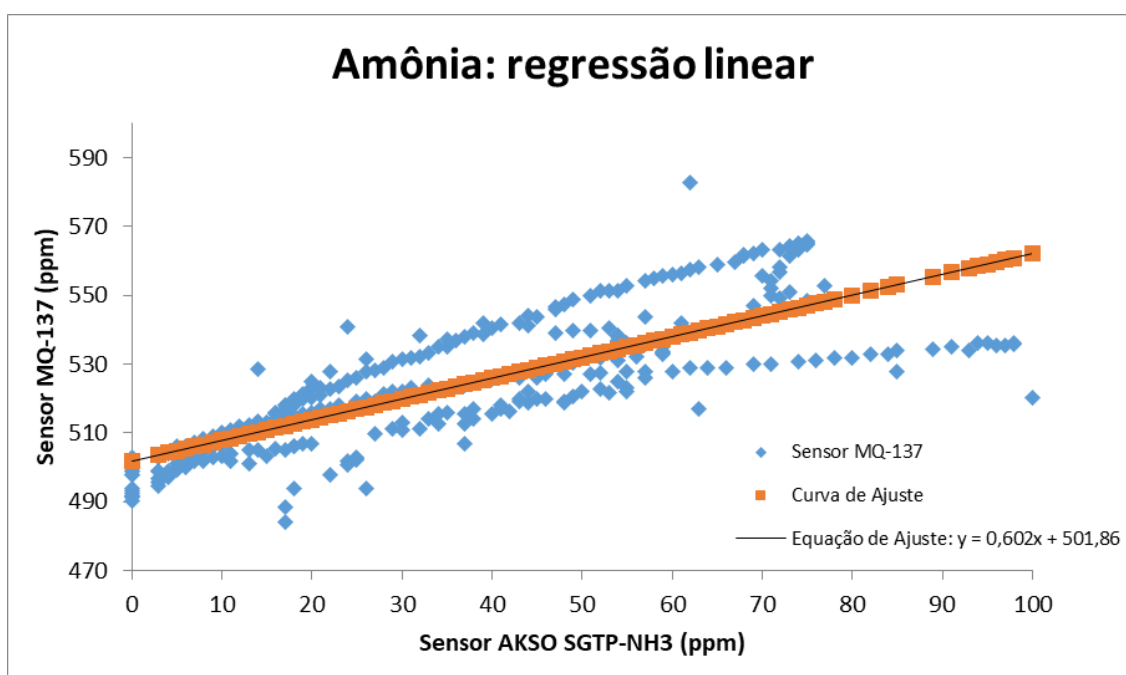
| Sensor                                | Modelo             | Descrição                                                                                                                                                               |
|---------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Temperatura e Umidade                 | HOBO U12-013Vectus | Medição: Temperatura de -20°C a 70°C e RH de 5% até 95%.<br>Resolução: temperatura 0,03°C e RH 0,03%<br>Precisão: temperatura $\pm 0,35^\circ\text{C}$ e RH $\pm 2,5\%$ |
| Amônia (NH <sub>3</sub> )             | AKSO SGTP-NH3      | Medição: 0 a 100ppm<br>Resolução: 1ppm<br>Precisão: $\pm 5\%$                                                                                                           |
| Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ) | AZ 7755            | Medição: 0 a 2000ppm<br>Resolução: 1ppm<br>Precisão: $\pm 50\text{ppm}$ ou $\pm\%$                                                                                      |
| Monóxido de carbono (CO)              | AZ EB 7701         | Medição: 0 a 999ppm<br>Resolução: 1ppm<br>Precisão: $\pm 20\%$ a 0~100ppm e $\pm 15\%$ a 100~500ppm                                                                     |
| Níveis de Poeira                      | Airing-1000 Temtop | Medições: PM 10 de 0 a 999ug/m <sup>3</sup><br>Precisões: PM 10 de 0,1ug/m <sup>3</sup>                                                                                 |
| Luminosidade                          | AKROM KR832        | Medições: 0 a 40.000 lux<br>Resolução: 1 lux<br>Precisão: $\pm 3\%$                                                                                                     |

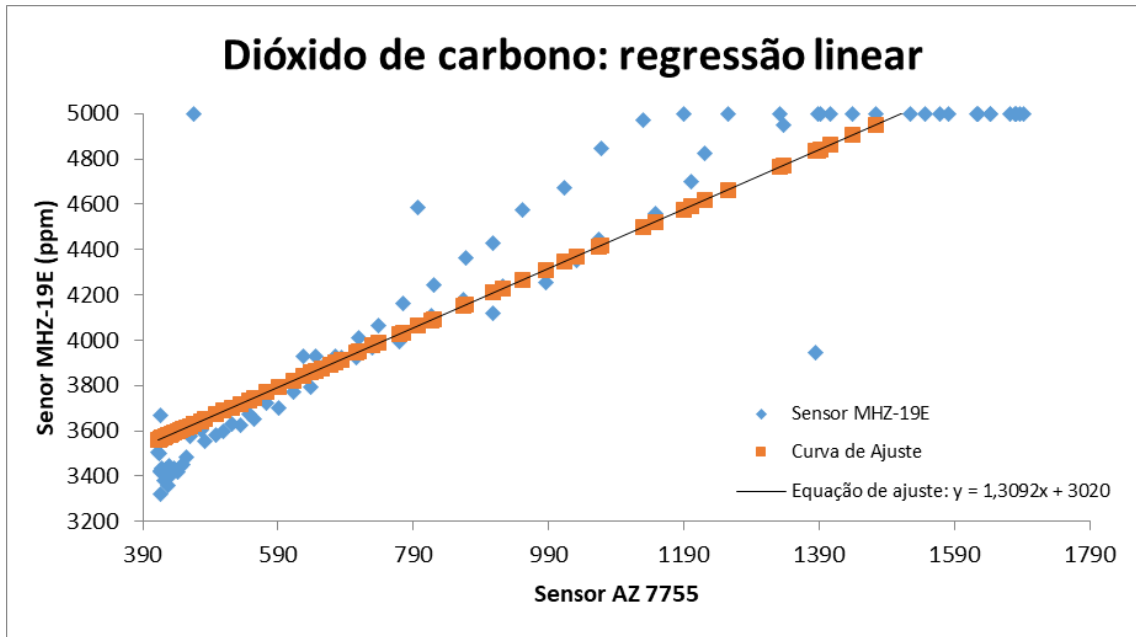
Seguindo as diretrizes da Norma Técnica NBR 14610 (ABNT, 2000) o processo de calibração (análise em laboratório) foi individualizado por sensor no qual cada um foi submetido a presença dos seus respectivos elementos detectáveis. Porém, existiam diversos sensores que realizavam a mesma medição e isso gerou dúvidas sobre qual seria o mais preciso. Para compreender a precisão destes sensores foi realizado o experimento com no mínimo dois modelos diferentes de sensores, porém, correlatos onde seus dados estatísticos (medidas de dispersão) foram comparados e foi escolhido aquele que apresentou os melhores resultados em um grau significância de correlação alta (acima ou igual a 0,80) a um nível de confiança de 95%. Posteriormente cada um destes sensores foram condicionados em uma caixa hermeticamente fechada. A partir disso o microclima desta caixa foi saturado até o Instrumento-Padrão atingir o pico máximo de leitura e realizar estabilização.

As Figuras de 6 a 12 apresentam cada equação gerada e a Tabela 3 apresenta os resultados desse processo.

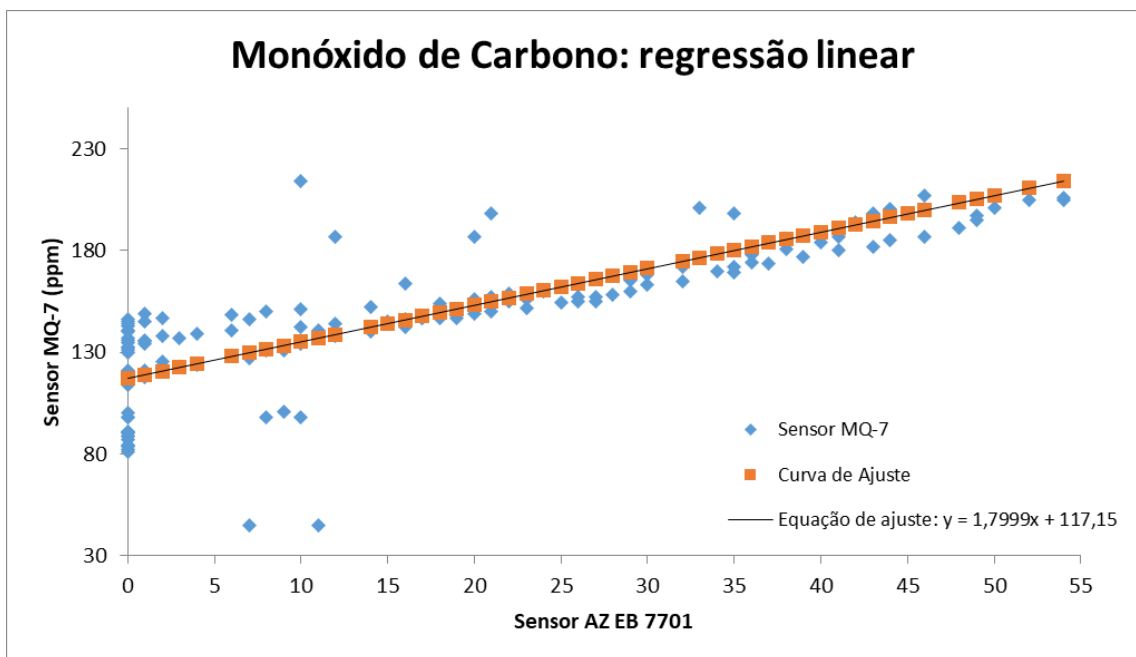
**Tabela 3.** Resultado das análises individuais dos sensores.

| Elementos de avaliação | Sensores     | Correlação | R <sup>2</sup> |
|------------------------|--------------|------------|----------------|
| Amônia                 | MQ-135       | 0,43       | 0,19           |
|                        | MICS-6814    | 0,17       | 0,04           |
|                        | MQ-137       | 0,82       | 0,64           |
| Dióxido de Carbono     | MG-811       | 0,57       | 0,33           |
|                        | MHZ-19E      | 0,93       | 0,84           |
| Monóxido de Carbono    | MQ-7         | 0,77       | 0,59           |
|                        | MICS-5524    | 0,55       | 0,30           |
|                        | CJMCU-6814   | 0,32       | 0,11           |
| Luminosidade           | TEMT-6000    | 0,95       | 0,90           |
|                        | BH-1750      | 0,94       | 0,85           |
| Temperatura            | DHT-22       | 0,89       | 0,80           |
|                        | BME-280      | 0,95       | 0,91           |
| Umidade                | DHT-22       | 0,78       | 0,61           |
|                        | BME-280      | 0,84       | 0,71           |
| Poeira                 | DSM-501A     | 0,74       | 0,52           |
|                        | GP2Y1014AU0F | 0,41       | 0,24           |

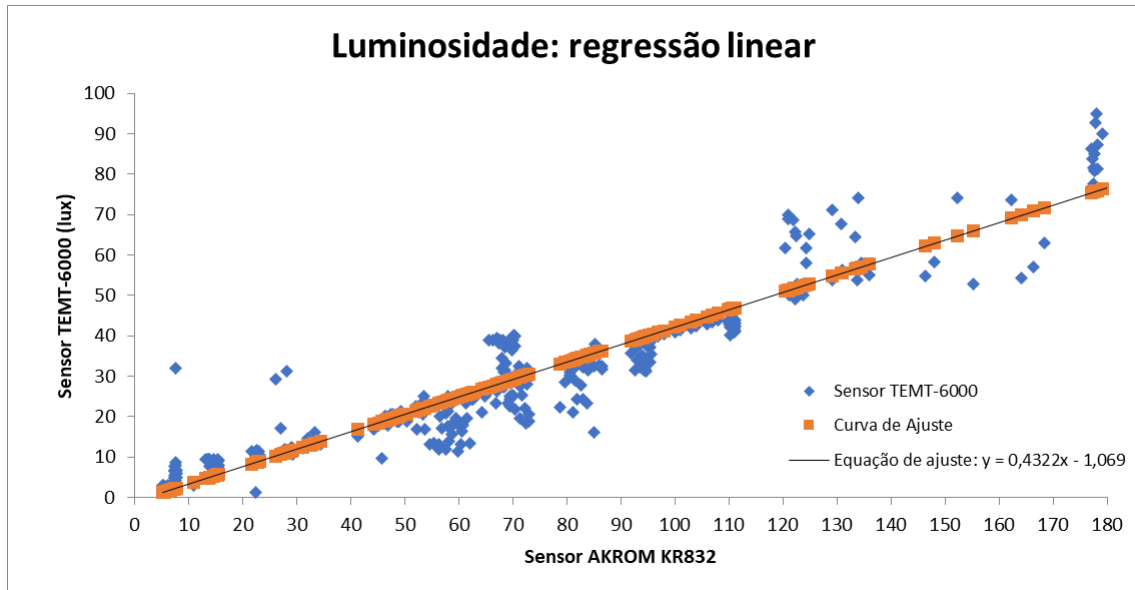
**Figura 6.** Equação de ajuste para amônia.



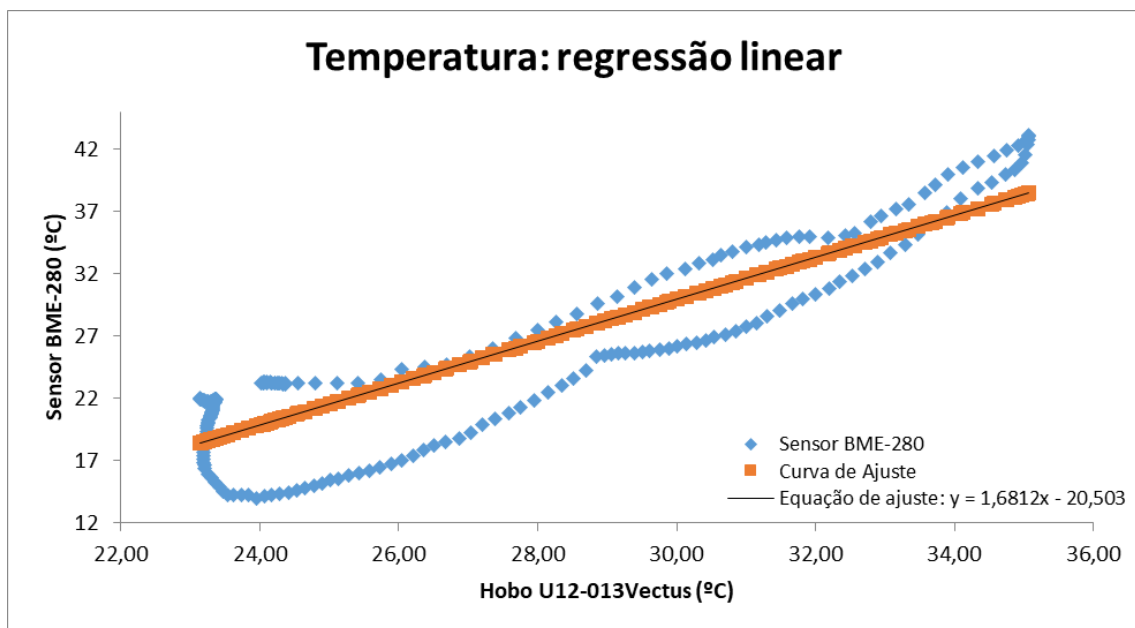
**Figura 7.** Equação de ajuste para dióxido de carbono.



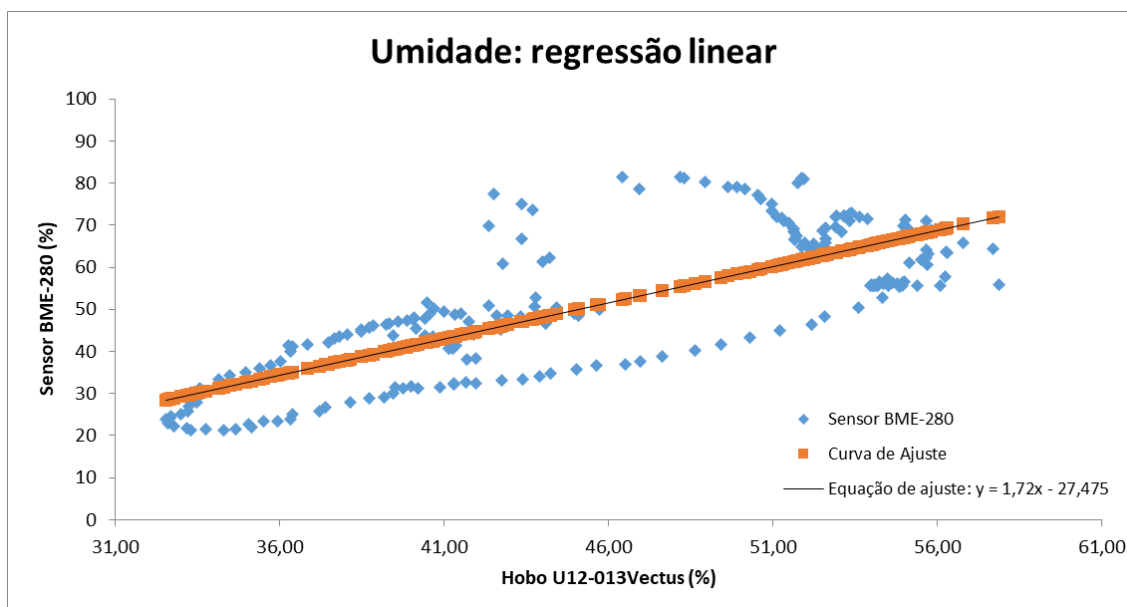
**Figura 8.** Equação de ajuste para monóxido de carbono.



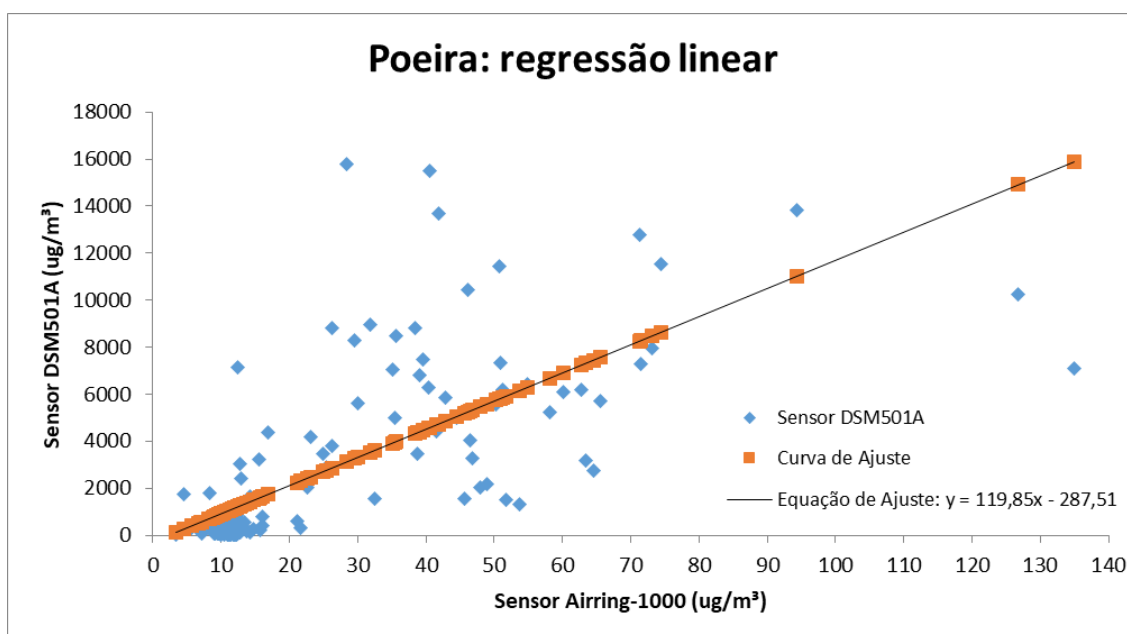
**Figura 9.** Equação de ajuste para luminosidade.



**Figura 10.** Equação de ajuste para temperatura.



**Figura 11.** Equação de ajuste para umidade.



**Figura 12.** Equação de ajuste para poeira.

O fator determinante para a escolha de cada sensor foi a mais alta correlação ( $\geq 0,80$ ). Os sensores que atenderam estes requisitos foram: amônia ( $\text{NH}_3$ ) MQ-137, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) MHZ-19E, monóxido de carbono (CO) MQ-7, temperatura BME-280, umidade BME-280 e poeira DSM501A (este último não atingiu correlação acima de 0,80 porém, foi o valor mais alto em relação ao outro sensor). As equações de curva de ajuste são apresentadas na Tabela 4.

**Tabela 4 – Equações de ajuste para cada sensor.**

| <b>Propriedade</b>  | <b>Sensor</b> | <b>Equação de Ajuste</b> |
|---------------------|---------------|--------------------------|
| Amônia              | MQ-137        | $y = 0,602x + 501,86$    |
| Dióxido de carbono  | MHZ-19E       | $y = 1,3092x + 3020$     |
| Monóxido de carbono | MQ-7          | $y = 1,7999x + 117,15$   |
| Luminosidade        | TEMT-6000     | $y = 0,4322x + 1,069$    |
| Temperatura         | BME-280       | $y = 1,6812x - 20,503$   |
| Umidade             | BME-280       | $y = 1,72x - 27,475$     |
| Poeira PM 10        | DSM-501A      | $y = 125,32x - 365,27$   |

As equações de ajuste tiveram sua avaliação realizada por meio de análises estatísticas que conferiram o quanto cada modelo se ajustou a um conjunto de dados reais em um aviário comercial (análise em campo). O Sensor Ambiental foi levado ao aviário parceiro em conjunto aos instrumentos-padrões e ocorreu um levantamento de dados, por meio de análise em um aviário comercial, na quinta semana de criação na data de 15 de novembro de 2023.

Este estudo comparativo foi realizado colocando todos os equipamentos em paralelo, no mesmo instante e período de tempo tendo os dados registrados na base de dados. A aquisição dos dados durou 5 horas com registros a cada 2 minutos totalizando 150 registros. Foram utilizadas diferentes métricas estatísticas objetivando garantir a assertividade e os ajustes da equação de regressão linear em relação aos valores reais do aviário. A Tabela 5 apresenta o resumo final das métricas utilizadas.

**Tabela 5** – Métricas estatísticas da assertividade da equação de regressão linear.

| <b>Propriedade</b>  | <b>Média dos resíduos</b> | <b>Erro Padrão da Estimativa</b> | <b>Valor estimado encontrado</b> | <b>Valor médio esperado</b> |
|---------------------|---------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Amônia              | 0,3193                    | 0,41                             | 2,16 ppm                         | Máx de 15 ppm               |
| Dióxido de Carbono  | -1,1671                   | 20,08                            | 1041 ppm                         | Máx. de 3.000 ppm           |
| Monóxido de Carbono | 7,9492                    | 8,05                             | 1,25 ppm                         | Máx. de 16,09 ppm           |
| Luminosidade        | 3,3425                    | 1,31                             | 26,28 lx                         | Entre 10 a 20 lx            |
| Temperatura         | 0,2541                    | 0,07                             | 26,76 °C                         | Entre 19,5 °C e 24,6°C      |
| Umidade             | 3,2544                    | 1,27                             | 74,18 %                          | Entre 54% e 65%.            |
| Poeira PM 10        | 54,35                     | 28,32                            | 1290,24 µg/m³                    | Entre 1280 a 3362 µg/m³     |

Os sensores de Poeira (PM 10) e Dióxido de Carbono apresentaram um erro padrão maior na estimativa do valor. Isso se deve ao fato da dificuldade de gerar uma equação que realize de forma fidedigna a predição do valor medido em função do sensor industrial. Os demais sensores apresentaram valores tanto de média de resíduos quanto erro padrão estimado baixos, garantindo desta forma uma alta fidedignidade a predição do valor estimado.

#### **6.4 Conclusões e considerações finais**

O módulo Sensor Ambiental foi construído e funcionou corretamente para a coleta de dados. Os sensores de prototipação rápida que fazem parte do módulo foram calibrados com os sensores industriais. O resultado desta calibração resultou em equações que predizeram os valores estimados. Estes valores foram analisados por métodos estatísticos que apresentaram a taxa de resíduos e a relação ao erro padrão da estimativa em relação ao valor estimado encontrado determinando assim a confiabilidade da resposta predita; além disso esse valor estimado encontrado foi relacionado ao valor médio esperado o que indicou a condição do microclima onde o sensor estava posicionado no aviário e os resultados

de cada sensor foram coerentes com a quinta semana de criação. Conclui-se que o módulo se encontra pronto para uso de forma confiável.

### **Agradecimentos**

A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), por meio do projeto número 2022/0744-2, pelo financiamento do projeto para compra de todos os equipamentos utilizados nesta pesquisa.

### **Referências**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14610: Indicador de temperatura com sensor - Calibração por comparação com instrumento padrão. Rio de Janeiro, 2000. 5 p.

ABREU, P. G.; ABREU, V. M. N. Conforto térmico para aves. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. 5p. (Comunicado Técnico).

CAMPOS, Joana Filipa da Rocha. Avaliação do bem-estar animal em frangos de engorda em regime intensivo. 2015. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Medicina Veterinária, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2015.

COBB. Manual de manejo de frangos de corte. Cobb-Vantress, 2019. Disponível em: <https://www.cobb-vantress.com/assets/Cobb-Files/df5655a7e9/Broiler-Guide-2019-POR-WEB.pdf>. Acesso em: 27 maio 2021.

FIGUEIRA, Samantha Verdi; NASCIMENTO, Gisele Mendanha; MOTA, Bárbara de Paiva; LEONÍDIO, Angélica Ribeiro Araújo; ANDRADE, Maria Auxiliadora. Bem-estar animal aplicado a frangos de corte. Enciclopédia Bioesfera: Centro Científico Saber. Goiânia, p. 100-121. jul. 2014.

FREITAS, Sônia Maria de. Metodologia Estatística para Validação de Métodos Analíticos Aplicável à Metrologia em Química. 2003. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Metrologia Para Qualidade Industrial., Puc-Rio, Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: [https://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0116460\\_03\\_cap\\_03.pdf](https://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0116460_03_cap_03.pdf). Acesso em: 03 jun. 2022.

DORNELAS, Karoline Carvalho; MASCARENHAS, Nágela Maria Henrique; ROCHA, Priscila Almeida dos Santos da; TON, Ana Paula Silva; AMARAL, Adriana Garcia do; SCHNEIDER, Roselene Maria; BRITO, Alícia Nayana dos Santos Lima de; FURTADO, Dermeval Araújo; NASCIMENTO, José Wallace Barbosa do. Chicken bed reuse. Environmental Science And Pollution Research, [S.L.], v. 30, n. 14, p. 39537-39545, 14 fev. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-023-25850-8>.

EURACHEM, CITAC, Quantifying uncertainty in analytical measurement, Guide CG4, 3rd ed., Eurachem, 2012. Disponível em: <[https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/QUAM2012\\_P1.pdf](https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/QUAM2012_P1.pdf)>. Acesso em: 03/06/2022.

GUNDIM, Lígia Fernandes; RODRIGUES, Evelyn Assad; BLANCA, William Torres; COLETO, Arlinda Flores; MEDEIROS, Alessandra Aparecida. Causas de condenações de frangos de corte relacionados a manejo e ambiência. Enciclopédia Bioesfera: Centro Científico Saber. Goiânia, p. 100-108. jun. 2015.

LI, Mingyang; ZHOU, Zilin; ZHANG, Qiang; ZHANG, Jie; SUO, Yunpeng; LIU, Junze; SHEN, Dan; LUO, Lu; LI, Yansen; LI, Chunmei. Multivariate analysis for data mining to characterize poultry house environment in winter. Poultry Science, [S.L.], v. 103, n. 5, p. 103633, maio 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psj.2024.103633>.

LIMA, Karla A.O.; NÄÄS, Irenilza A.; MOURA, Daniella J.; GARCIA, Rodrigo G.; MENDES, Angélica S.. Applying multi-criteria analysis to select the most appropriate broiler rearing environment. Information Processing In Agriculture, [S.L.], v. 8, n. 2, p. 205-218, jun. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.inpa.2020.04.007>.

MALIKA, Naila Zakia; RAMLI, Rusyaizila; ALKAWAZ, Mohammed Hazim; JOHAR, Md Gapar Md; HAJAMYDEEN, Asif Iqbal. IoT based Poultry Farm Temperature and Humidity Monitoring Systems: a case study. 2021 Ieee 9Th Conference On Systems, Process And Control (Icspc 2021), Malaca, Malásia, v. 1, n. 1, p. 1-1, 10 dez. 2021. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/icspc53359.2021.9689101>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9689101>. Acesso em: 11 fev. 2022.

MELAK, Awoke; ASEGED, Tesfalem; SHITAW, Takele. The Influence of Artificial Intelligence Technology on the Management of Livestock Farms. International Journal Of Distributed Sensor Networks, [S.L.], v. 2024, p. 1-12, 8 jan. 2024. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2024/8929748>.

PRESSMAN, Roger S.; MAXIM, Bruce R.. Engenharia de Software: Uma Abordagem Profissional. 8. ed. Porto Alegre: Amgh, 2016. 968 p.

QI, Fei; ZHAO, Xuedong; SHI, Zhengxiang; LI, Hao; ZHAO, Wanying. Environmental Factor Detection and Analysis Technologies in Livestock and Poultry Houses: a review. Agriculture, [S.L.], v. 13, n. 8, p. 1489, 27 jul. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture13081489>.

SANS, Eco; TUYTTENS, Fam; TACONELI, Ca; RUEDA, Pm; CIOCCA, Jr; MOLENTO, Cfm. Welfare of broiler chickens reared under two different types of housing. Animal Welfare, [S.L.], v. 30, n. 3, p. 341-353, ago. 2021. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.7120/09627286.30.3.012>.

SCHIASSI, Leonardo. Desempenho e comportamento de frangos de corte em túneis de vento climatizados. 2013. 79 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós- Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

SHIMAKURA, Silvia. Interpretação do coeficiente de correlação. Departamento de Estatística, Universidade Federal do Paraná. CE003 - Estatística II, 2006. Disponível em: <<http://leg.ufpr.br/~silvia/CE003>>. Acesso em: <20/02/2023>.

SCHIASSI, Leonardo; YANAGI JUNIOR, Tadayuki; FERRAZ, Patrícia F. P.; CAMPOS, Alessandro T.; SILVA, Guilherme R. e; ABREU, Lucas H. P.. Comportamento de frangos de corte submetidos a diferentes ambientes térmicos. Journal Of The Brazilian Association Of Agricultural Engineering: Revista Engenharia Agrícola. Jaboticabal, p. 390-396. jun. 2015.

WULANDARI, Wulandari; WAHJUNI, Sri; NOUVAL, Wahyu Muhammad; AKBAR, Auriza Rahmad. Development of Automatic Weather Station Monitoring System for Broiler Chicken Coop. 2021 Ieee Bombay Section Signature Conference (Ibssc), Gwalior, Índia, v. 1, n. 1, p. 1-1, 18 nov. 2021. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/ibssc53889.2021.9673271>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9673271>. Acesso em: 11 fev. 2022.

YANG, Xue; ZHANG, Feng; JIANG, Taiping; YANG, Ding. Environmental Monitoring of Chicken House Based on Edge Computing in Internet of Things. 2020 Ieee 8Th Joint International Information Technology And Artificial Intelligence Conference (Itaic), Chongqing, China, v. 1, n. 1, p. 1-1, maio 2020. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/itaic.2020.8785634>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8785634>. Acesso em: 11 fev. 2022.



## 7 DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO ELETROMECAÂNICO DE DETECÇÃO DE UMIDADE DA CAMA EM AVIÁRIOS COMERCIAIS DE FRANGO DE CORTE

### Resumo

O sistema industrial de produção de frangos de corte deve apresentar um controle rígido da ambiência para o melhor desenvolvimento dos animais. Um dos fatores críticos para esse sistema é a cama (material depositado entre o piso, geralmente de concreto, e o animal) que é constituído de material isolante térmico (p.ex. maravalha de madeira, casa de amendoim, casca de arroz, dentre outros) com a capacidade de absorção das excretas dos animais. A condição física desse material pode interferir diretamente na qualidade da ambiência pois dependendo de seu estado pode aumentar os níveis de gases, como a amônia, e poeira no aviário, além de comprometer a qualidade das patas dos animais com as pododermatites. Técnicas de manejo conduzem à análise da qualidade da cama por meio do seu nível de teor de umidade. Este artigo apresenta o desenvolvimento de um sensor eletrônico de umidade de cama de frango por meio da utilização de microcontroladores e sensores de prototipação rápida. O método construtivo foi baseado em três etapas que abrangeram a prototipação de um *Minimum Viable Product*; ensaios em campo para avaliar a capacidade de detecção da umidade utilizando o acoplamento do sensor a um robô previamente construído; uma modelagem matemática que determinou o mais adequado sensor para detecção da umidade na cama e a utilização da Norma Técnica 6457 para determinação da calibração da equação de ajuste do nível de umidade detectado. Os resultados gerados confirmaram a produção de um produto eletrônico calibrado para detecção de umidade de cama de frango que foi testado em um aviário comercial produzindo um mapeamento da umidade ao longo das seis semanas de produção dos animais.

**Palavras-chave:** Umidade cama de frango, Dispositivo eletrônico umidade, Sensor umidade

### Abstract

The industrial broiler production system must have strict environmental control for the best development of the animals. One of the critical factors for this system is the bedding (material deposited between the floor, usually concrete, and the animal) which is made up of thermal insulating material (e.g. wood shavings, peanut brittle, rice husk, among others). others) with the ability to absorb animal excreta. The physical condition of this material can directly interfere with the quality of the environment as, depending on its condition, it can increase the levels of gases, such as ammonia, and dust in the aviary, in addition to compromising the quality of the animals' paws with pododermatitis. Management techniques lead to the analysis of litter quality through its moisture content level. This article presents the development of an electronic chicken litter moisture sensor through the use of microcontrollers and rapid prototyping sensors. The construction method was based on three stages that covered the prototyping of a Minimum Viable Product; field tests to evaluate the humidity detection capacity using the sensor coupling to a previously built robot; mathematical modeling that determined the most suitable sensor for detecting

humidity in the bed and the use of Technical Standard 6457 to determine the calibration of the equation for adjusting the detected humidity level. The results generated confirmed the production of a calibrated electronic product for detecting humidity in chicken litter, which was tested in a commercial poultry farm, producing a mapping of humidity throughout the six weeks of animal production.

**Keywords:** Chicken litter humidity, Electronic humidity device, Humidity sensor

## 7.1 Introdução

O frango de corte criado em ambiente artificial exige controle preciso das condições ambientais e da qualidade da cama para o seu melhor desempenho produtivo. A cama é utilizada para absorver as excretas, servir de isolante térmico e sua condição interfere diretamente na qualidade da ambiência e no desempenho produtivo do lote (DORNELAS et al., 2023; CENGIZ et al., 2017). Durante a criação a cama passa por constantes processos químicos e biológicos devido a interação entre ambiente e animais. O controle e o monitoramento da umidade e dos gases resultantes desses processos bioquímicos são necessários para manter a qualidade do leito microbiológico e, como consequência, satisfazer a perfeita homeostase do animal e seu bem-estar (WU et al., 2022; ARAÚJO, 2013).

Na tentativa de redução de custos produtivos é comum o método de reaproveitamento da cama entre lotes (entre 5 e 6 lotes) (WU et al., 2022; SOUZA, 2005), porém este método pode ocasionar em diminuição da qualidade sanitária do lote com um aumento da concentração de microrganismos patógenos e propiciar uma capacidade menor de retenção de líquido (ficando saturada facilmente). A incidência de alta umidade na cama (>30%) correlaciona-se com a produção de gases dentro do aviário (NI et al., 2023; JONG et al., 2014) e também está associada a ocorrência de diversas doenças nos animais como a dermatite do coxim plantar, dermatite do jarrete e dermatite da pele do peito (SHAH et al., 2022; CENGIZ et al., 2011). O resultado dessas doenças reflete não apenas na qualidade das carcaças, mas também na diminuição da conversão alimentar porque animais com dor tem menor tendência a visitar comedouros e bebedouros (WU et al., 2022; MARTLAND, 1985).

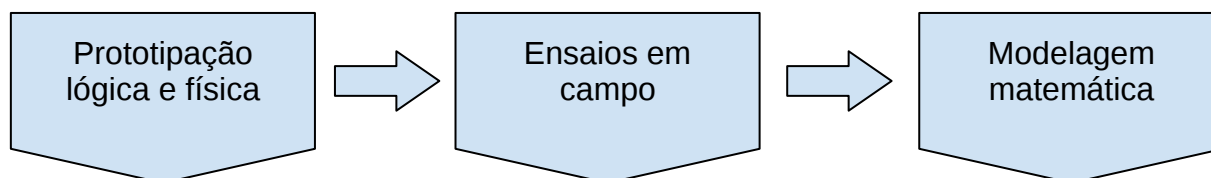
Monitorar, mapear e analisar as variações de umidade da cama no aviário é de extrema importância para compreender como ela pode influenciar na geração de gases, poeira, doenças e conversão alimentar. Este trabalho apresenta como hipótese de que é possível o desenvolvimento de uma ferramenta tecnológica

que consiga mensurar os valores de umidade de uma cama de frango em tempo real em diferentes pontos, e que pode otimizar o diagnóstico para determinação de melhores condições ambientais e sanitárias para os animais favorecendo a melhor tomada de decisão para execução do manejo da cama.

Este trabalho objetiva construir um dispositivo capaz de medir a umidade relativa na cama de frango em tempo real, possibilitando sua análise em virtude dos índices de ambiência. Os objetivos específicos são: desenvolver um dispositivo eletromecânico capaz de penetrar na cama por meio de um *Minimum Viable Product* (MVP); acoplar este dispositivo em uma estrutura robótica existente; realizar a medição da umidade da cama; e mapear o galpão trazendo as posições de cada medição de umidade.

## 7.2 Materiais e Métodos

O desenvolvimento e realização dos ensaios que validaram o dispositivo como um modelo de *Minimum Viable Product* (MVP) foram realizadas em três fases como mostrado na Figura 1 e descritos a seguir.



**Figura 1.** Atividades para desenvolvimento do MVP.

1. Prototipação lógica e física: o desenvolvimento do dispositivo foi guiado por premissas técnicas baseadas nas seguintes funcionalidades:
  - a) análise de diferentes sensores de umidade de solo compatíveis com o microcontrolador ATmega2560;
  - b) capacidade de perfurar a cama para penetração do sensor de umidade de solo;
  - c) capacidade de penetrar o sensor de umidade de solo na cama perfurada;
2. Ensaios em campo: o dispositivo foi analisado em um aviário comercial de frangos de corte sobre os seguintes aspectos:
  - a) capacidade do sensor de umidade de solo realizar leituras de umidade da cama durante as seis semanas de uma criação; e

- b) as leituras serem realizadas em amostragens por pontos pré-determinados no galpão de aves.
- 3. Modelagem matemática: constituiu na análise estatística do experimento e respectivos dados coletados sobre os seguintes aspectos:
  - a) diferentes modelos de sensores de umidade de solo foram comparados sobre um mesmo aspecto e validadas as suas capacidades de leitura de umidade por meio de método estatístico de correlação de Pearson; e
  - b) o nível de umidade das amostragens realizadas pelo dispositivo foi comparado com as análises das amostragens coletadas em conjunto com a leitura e, em seguida, foram comparadas por meio de secagem baseada na Técnica da Estufa (NBR 6457<sup>5</sup>) e certificadas por meio da técnica estatística de ajuste de curvas (ANDERSON et al., 2021).

### 7.3 Resultados e Discussões

Para a prototipação física do dispositivo os seguintes equipamentos foram previamente considerados: microcontrolador WemosR3 Mega + ESP8266 com 32Mb de memória, *Integrated Development Environment* (IDE) Arduino IDE com a linguagem de programação C++ e foi executado em um computador com processador Intel core i7-1165G7, de velocidade 2.80GHz, com 8GB de memória e sistema operacional Windows 11 Home Single *Language*. O esquema do circuito elétrico foi modelado no software Fritzing na versão 0.9.3 e o modelo arquitetural do protótipo foi elaborado no AutoCad 2017 (Release 21.0).

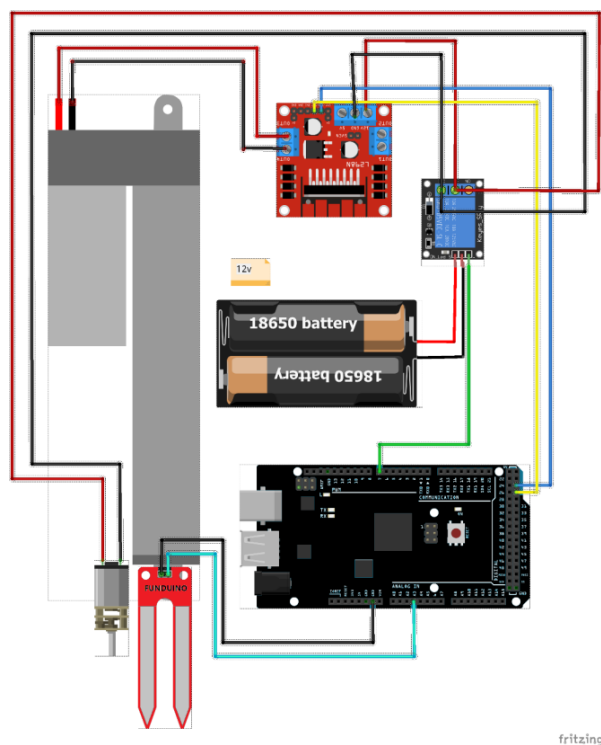
#### 7.3.1. Prototipação lógica e física

O dispositivo foi desenvolvido em placa de Medium Density Fiberboard (MDF) na espessura de 3mm por facilitar o corte, modelagem e apresentar aspecto rígido para sustentação dos componentes. Associado ao microcontrolador WemosR3 foi acoplado um relé de 5v e 10A que teve a responsabilidade de ativar/desativar o funcionamento do mecanismo. Uma ponte H L298N teve a ação de baixar e levantar o braço atuador para as ações de perfuração e penetração na cama. Este braço atuador era do modelo linear, de tensão 12v, comprimento máximo (aberto) de 150mm e força de 19.2N. Além disso o braço atuador foi associado ao

---

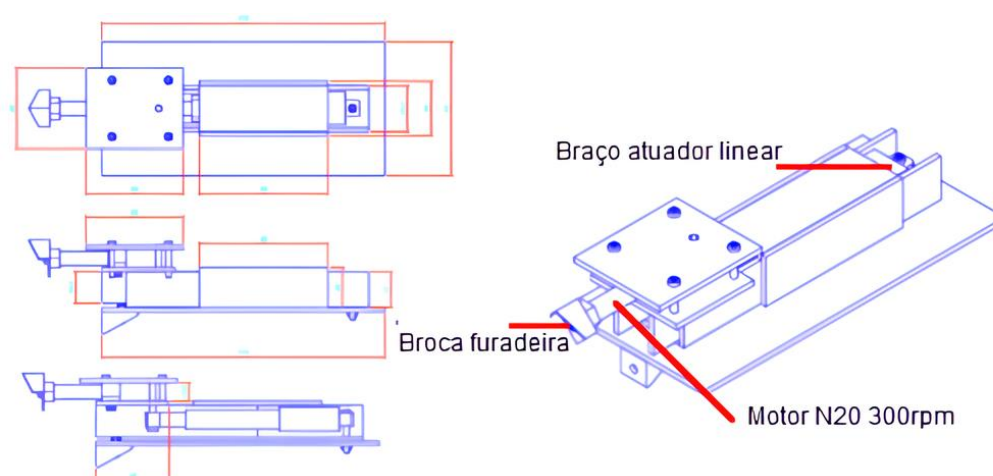
<sup>5</sup> Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/1963/nbr6457-solos-preparacao-de-amostras-para-ensaios-de-compactacao-caracterizacao-e-determinacao-do-teor-de-umidade>

funcionamento da ponte H; foi acoplado a sua ponta um motor modelo N20 (de tensão 6-12v, velocidade de rotação por minuto de 300rpm) e em paralelo um sensor de umidade de solo de haste higrômetro (marca Funduino, modelo GC-58). Todo o circuito elétrico foi alimentado por uma bateria de 12v de 28mAh. O esquema elétrico para o circuito do dispositivo é apresentado na Figura 2 (o código fonte é mostrado no ANEXO H).



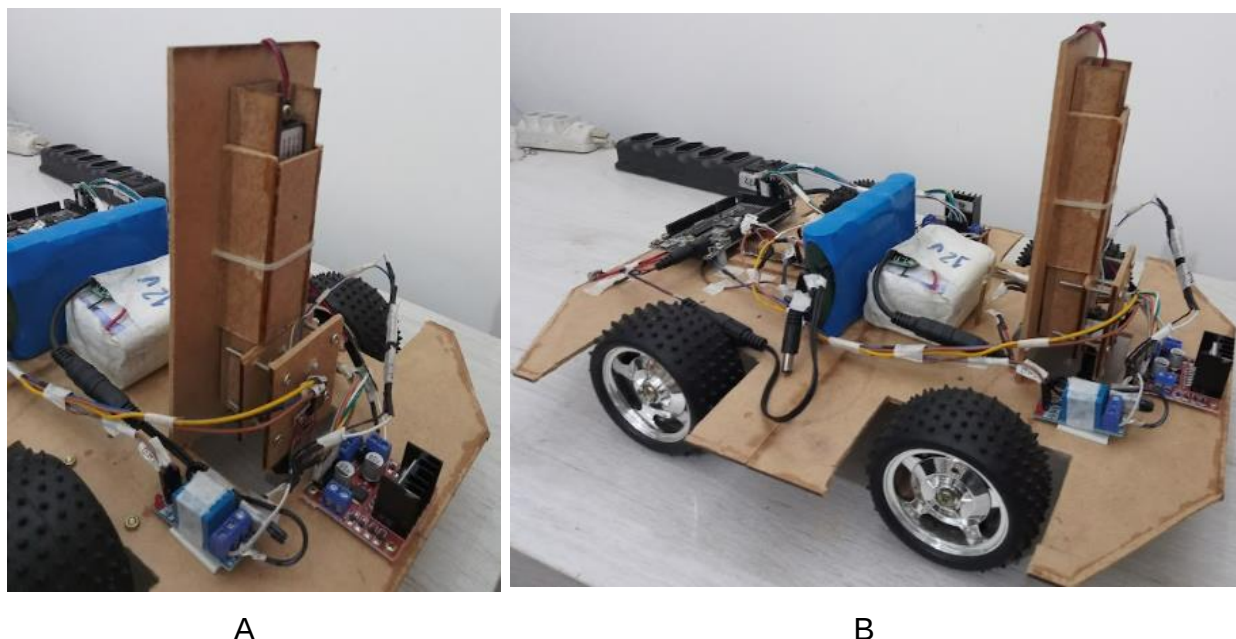
**Figura 2.** Esquema elétrico do circuito do dispositivo.

A modelagem do dispositivo foi realizada no software AutoCad que possibilitou dimensionar as características físicas do circuito. Isso permitiu obter um modelo que pode ser acoplado a uma estrutura robótica móvel já previamente desenvolvida no NUPEA/ESALQ/USP. A Figura 3 apresenta a modelagem do dispositivo.



**Figura 3.** Modelagem do dispositivo em software AutoCad.

Por fim, a Figura 4 mostra o dispositivo acoplado ao chassi da estrutura robótica. O dispositivo é ativado por um relé que energiza a ponte H L298N; um comando via programação determina à ponte H L298N se deve descer ou subir o braço atuador; ao descer o motor N20 é acionado e começa a girar a broca furadeira acoplada; essa broca penetra na cama realizando uma perfuração; em conjunto o sensor GC-58 é penetrado na cama; aguarda-se 30 segundos para que a leitura da umidade seja realizada pelo sensor GC-58; em seguida o braço sobe e recolhe o sensor e a broca furadeira. Um vídeo é apresentado em: [https://www.youtube.com/shorts/LH\\_zLPi6FD4](https://www.youtube.com/shorts/LH_zLPi6FD4) .



**Figura 4.** Implementação física do dispositivo. A: visão superior; B: visão lateral

### 7.3.2 Determinação do sensor de umidade de solo

A determinação da escolha do sensor de umidade de solo higrômetro Funduino, modelo GC-58 foi realizada por meio da análise de diferentes sensores de mesma natureza. O pré-requisito era ser compatível com o microcontrolador *Wemos R3* e a IDE *Arduino*, portanto, foram utilizados no método de comparação para determinação da confiabilidade da leitura de umidade os sensores: GBKP23, GC-58, YL-69 e HW-390.

A Tabela 1 apresenta o compilado das informações que caracterizam cada um destes sensores.

**Tabela 1.** Sensores de umidade comparados.

| Modelo | Fabricante/Site                                                                                                                                                                                                                           | Descrição                                                                                                                                   | Comprimento |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| GBKP23 | GBK Robotics<br>( <a href="https://www.eletrusco.mp.com.br/arquivos/1488567050_dados_tecnicos_p23__gbk_sensor_de_umidade_d.pdf">https://www.eletrusco.mp.com.br/arquivos/1488567050_dados_tecnicos_p23__gbk_sensor_de_umidade_d.pdf</a> ) | Sensor de umidade usado para detectar as variações de umidade do solo, podendo também ser utilizado em terra, areia ou diretamente na água. | 48mm        |
| GC-58  | Funduino<br>( <a href="https://funduino.de/wp-content/uploads/2019/04/001616242-an-01-en-">https://funduino.de/wp-content/uploads/2019/04/001616242-an-01-en-</a>                                                                         | Sensor analógico, confeccionado em RF4 com tensão de saída: 0 ~ 2.3 v, com uma boa vida útil por ser de ótima construção e robustez.        | 55mm        |

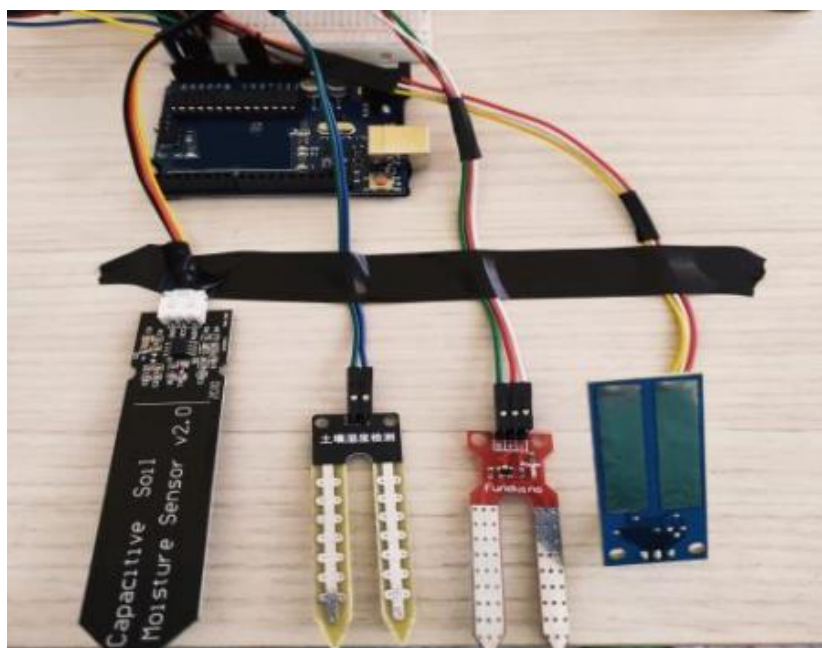
BODENFEUCHTE\_SE  
NS\_\_MOD\_\_IDUINO\_  
ME110-1.pdf)

|        |                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                             |      |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| YL-69  | MH-SensorSeries<br>( <a href="https://usermanual.wiki/Pdf/instructions.261306374/view">https://usermanual.wiki/Pdf/instructions.261306374/view</a> )                                         | Sensor que por meio de duas sondas realiza a medição da umidade por meio da aferição da corrente entre as sondas, e por um circuito com <i>trimpot</i> que permite ajustar a sensibilidade. | 60mm |
| HW-390 | MH-SensorSeries<br>( <a href="https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheet/s/DFRobot%20PDFs/SEN0193_Web.pdf">https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheet/s/DFRobot%20PDFs/SEN0193_Web.pdf</a> ) | Consiste em um oscilador de frequência fixa, baseado no CI 555 (Timer), que gera uma onda quadrada e é transformada em forma de sinal analógico.                                            | 97mm |

---

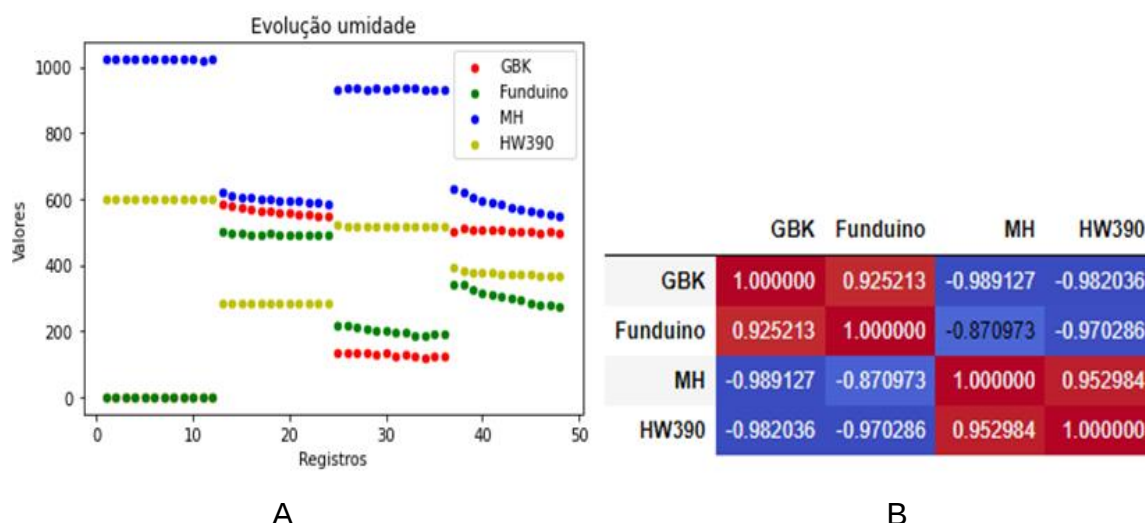
De acordo com as especificações dos fabricantes dos sensores GBKP23, GC-58, YL-69 e HW-390 para a captação dos indicadores de umidade necessita-se apenas da leitura das portas analógicas. Assim, não foi procurada nenhuma *Application Programming Interface* (API) pois a leitura dos dados foi realizada utilizando uma função nativa.

Na sequência foi construído uma prototipação física dos sensores acoplados ao microcontrolador como mostrado na Figura 5. A programação foi modularizada em quatro funções na linguagem C++ que realizavam doze leituras da umidade com intervalo de 500 milissegundos e ao final, totalizando 60 segundos, era detectado a presença de outliers e removidos, por fim foi calculado a média aritmética destas leituras.



**Figura 5.** Prototipação física dos sensores. Fonte: autores do projeto.

Na sequência foram realizados os testes de umidade para descobrir a sensibilidade de cada sensor a diferentes níveis de umidade, que foram realizados nos períodos de 16 a 20 de maio do ano de 2022. Para tanto foram elaborados quatro diferentes ensaios: ar do ambiente (janela do ambiente fechada, em dia sem chuva, sem uso de condicionadores de ar), contato direto com água (sensores mergulhados em um copo d'água), terra seca (percentual de umidade  $<10\%$ ) e terra úmida (percentual de umidade  $>30\%$ ). Os sensores foram programados para realizar leituras a cada 5 segundos e ficaram expostos por 60 segundos gerando 12 leituras para cada ensaio. Freitas (2003) e Eurachem (2012) determinam que o valor mínimo para análise deve ser de 10 registros. Os dados resultantes (valores expressos pela resistência dos sensores) foram plotados nas imagens que apresentam a dispersão ao longo da captura dos registros. Em seguida foi feita uma análise para compreender a correlação entre os dados coletados em todas as instâncias de execução dos quatro métodos apresentados (método de Pearson). Os resultados são apresentados na Figura 6.



**Figura 6.** Correlação dos dados nas diferentes etapas do método para a umidade. A: análise do sensor nos quatro ensaios; B: Correlação de Pearson entre sensores.

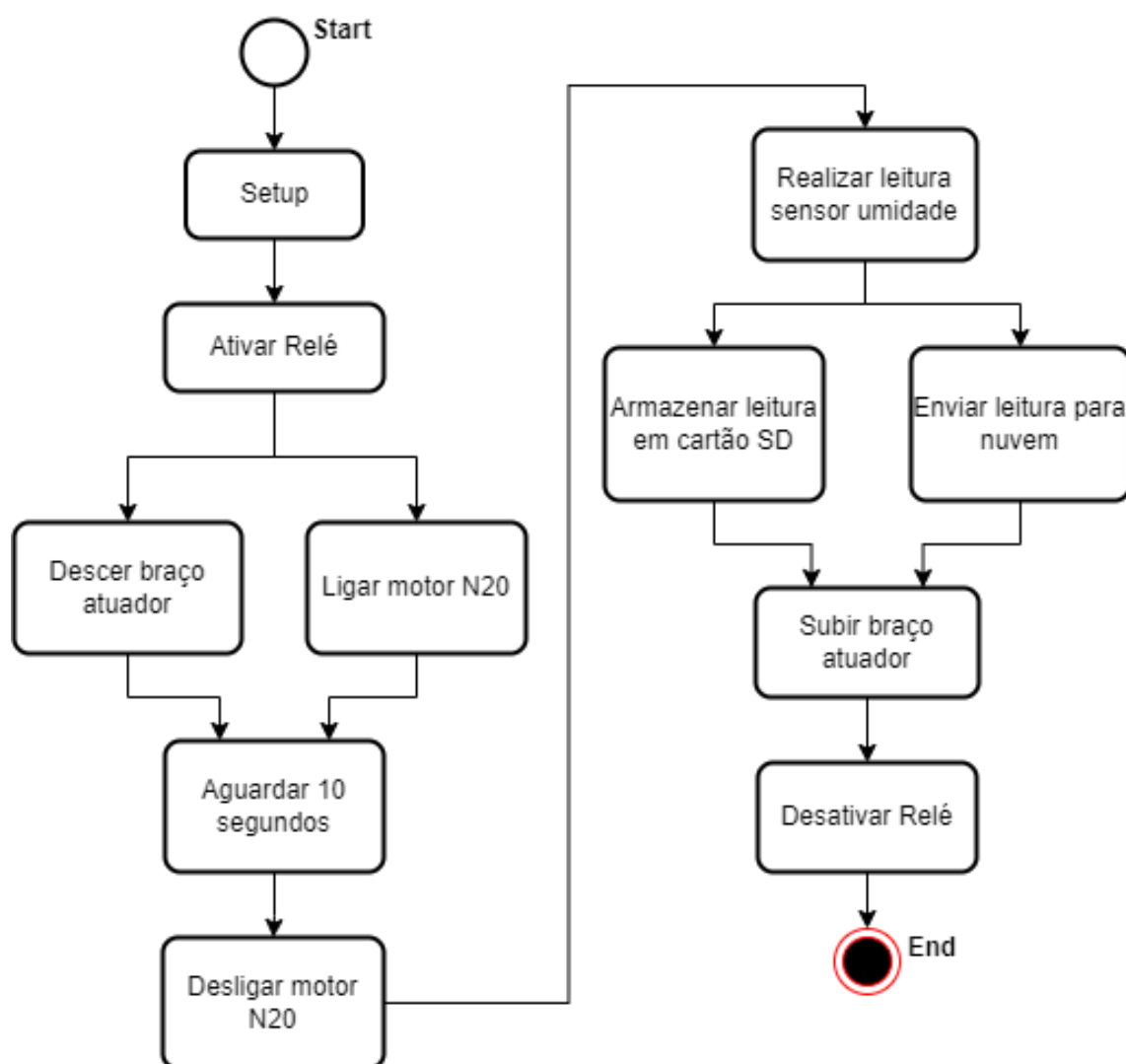
Analisando os resultados obtidos verifica-se que, após a execução dos ensaios, os sensores responderam corretamente a cada estímulo a eles apresentados. GBKP23 e FUNDUINO GC-58 tiveram os valores aumentados à medida que a umidade era maior e valores diminuídos quando o inverso ocorria. Os Sensores MH YL-69 e HW-390 não apresentaram a mesma característica na variação, ou seja, quando aumentou a umidade sobre o sensor ele diminuiu gradativamente o valor obtido pela sua resistência e aumentou quando o inverso ocorria. A correlação entre os sensores apresenta-se alta em relação ao GBK P23 e o FUNDUINO GC-58 com valor de  $p = 0,925213$ . Esta informação era esperada pois ambos trabalham com a mesma variação dos dados. Já os sensores MH YL-69 e HW-390 apresentaram uma correlação alta com valor de  $p = 0,952984$ , porém, em relação aos outros dois sensores a correlação se mostraram inversa. Isso também era esperado tendo em vista que a forma de atuação deles é diferente dos outros dois sensores.

Neste caso, conclui-se que para os sensores de identificação de umidade ficou evidente que todos reagiram corretamente aos estímulos, porém, cada um apresentando características próprias de leitura de informação. Isso tornou a utilização de qualquer um deles possível no projeto, contudo fazendo-se necessário realizar uma calibração com um sensor industrial ou método de análise de umidade de solo procurando identificar uma exatidão na leitura dos dados para a criação de uma equação de curva ajuste para apresentar certificar os dados. O fator

determinante para a escolha foi o menor comprimento, formato e rigidez suficiente para penetrar no solo por meio do braço atuador. Neste aspecto o sensor GBKP23 foi desconsiderado pois seu formato retangular não se ajusta à penetração na cama; os demais sensores possuíam rigidez suficiente para resistir a penetração e o formato retangular, mas com a parte penetrável no design de ponta, facilitando a penetração. Portanto, dos três sensores restantes o sensor GC-58 apresentou o menor tamanho o que facilitou, posteriormente, o acoplamento ao braço atuador para penetração na cama, objeto deste estudo.

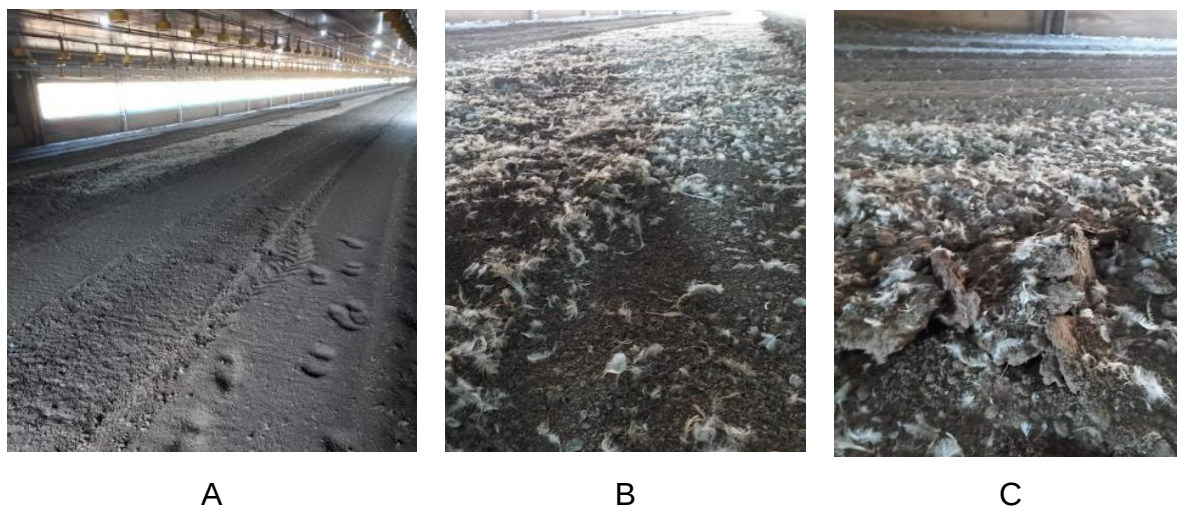
### **7.3.3 Modelagem e execução do algoritmo de detecção de umidade**

Um algoritmo programado na linguagem C++ foi implementado na Arduino IDE com o propósito de controlar a movimentação do braço atuador, acionamento do motor para perfuração da cama e análise amostral da umidade por meio do sensor de umidade de solo. O fluxograma do algoritmo é apresentado na Figura 7 (o código fonte é mostrado no ANEXO H).



**Figura 7.** Fluxograma de funcionamento do dispositivo.

A execução do algoritmo e seu funcionamento no dispositivo foi realizado com o auxílio de três amostras de cama de frango coletadas em diferentes partes do aviário onde cada uma apresentou características particulares: a primeira se apresentou fofa; a segunda pedregosa; e a terceira empedrada (compactada) (Figura 8). Além disso, o dispositivo foi acoplado a uma estrutura robótica móvel já existente. Em seguida, o dispositivo foi acionado e avaliado, para cada amostra, a capacidade de perfurar e penetrar o sensor de umidade na cama.



**Figura 8.** Avaliação da penetração do dispositivo nas amostras de cama: A: fofa, B: pedregosa e C: compactada.

O primeiro passo foi analisar a capacidade do motor e sua broca de furar o solo para posterior penetração do sensor no qual foi quantificado a profundidade em milímetros da penetração em cada amostra. A amostra fofa apresentou profundidade de penetração de 50mm; a amostra pedregosa apresentou 38mm; e a amostra compactada apresentou 7mm. O fabricante do sensor recomenda uma penetração mínima de 40mm para que a leitura da umidade seja realizada (FUNDUINO, 2022): a amostra fofa atingiu este valor, a amostra pedregosa se aproximou muito deste valor e a amostra compactada não atingiu o valor. Conclui-se que não é possível realizar a penetração quando a cama estiver compactada.

O segundo passo foi analisar a capacidade do sensor GC-58 realizar a medição da umidade. Este sensor quando acionado não apresenta o valor da umidade, mas sim, a diferença de resistividade à corrente elétrica entre suas duas hastes de contato (eletrodos). Essa diferença é medida pela variação da tensão entre eletrodos (entre 0 e 5v) e, em seguida, esta tensão é transformada em um sinal numérico variante entre 0 e 1024, sendo 0 a menor umidade detectada e 1024 a maior umidade detectada (ALMEIDA, 2017). Desta forma, a determinação do valor relativo de umidade foi realizada por meio de um processo de calibração que certificou o sensor. Esse processo foi realizado de acordo com a Técnica da Estufa (NBR 6457) seguido do método estatístico de Ajuste de Curvas (ANDERSON et al., 2021).

Foram analisados 3 tipos de cama no aviário em condições diferentes: seca, empedrada e molhada. Para cada condição foram coletadas 20 amostras de aproximadamente 20g cada, totalizando 60 amostras. Freitas (2003) e Eurachem (2012) sugerem que a amostragem deve ser no mínimo 10 para que o cálculo da curva de ajuste seja realizado. Cada parte foi depositada em um recipiente que foi pesado (peso bruto inicial); em seguida, o sensor GC-58 foi penetrado na amostra e teve seu valor de resistividade armazenado em um banco de dados; cada uma das amostras foi colocada em uma estufa de secagem e esterilização por convecção natural de marca Fanen®, modelo 315 SE, por um período de 24h sob a temperatura constante de 100°C; após o resfriamento cada amostra foi pesada novamente (peso final); por fim, de acordo com (CARVALHO, 2011; BRASIL, 1992) a porcentagem de umidade da amostra pode ser calculado de acordo com a Equação 1. Fonte: (CARVALHO, 2011; BRASIL, 1992)

$$u = \left( \frac{(P_{bi} - P_{bf}) * 100}{(P_{bi} - P_{li})} \right) \quad \text{eq.1}$$

Onde:

u: teor de umidade relativa (%)

P<sub>bi</sub>: Peso bruto inicial (g) – antes de ser colocado na estufa

P<sub>bf</sub>: Peso bruto final (g) – depois de ser colocado na estufa

P<sub>li</sub>: Peso líquido inicial (g) – antes de ser colocado na estufa

Obs.: descontado o valor do recipiente: 0,97g

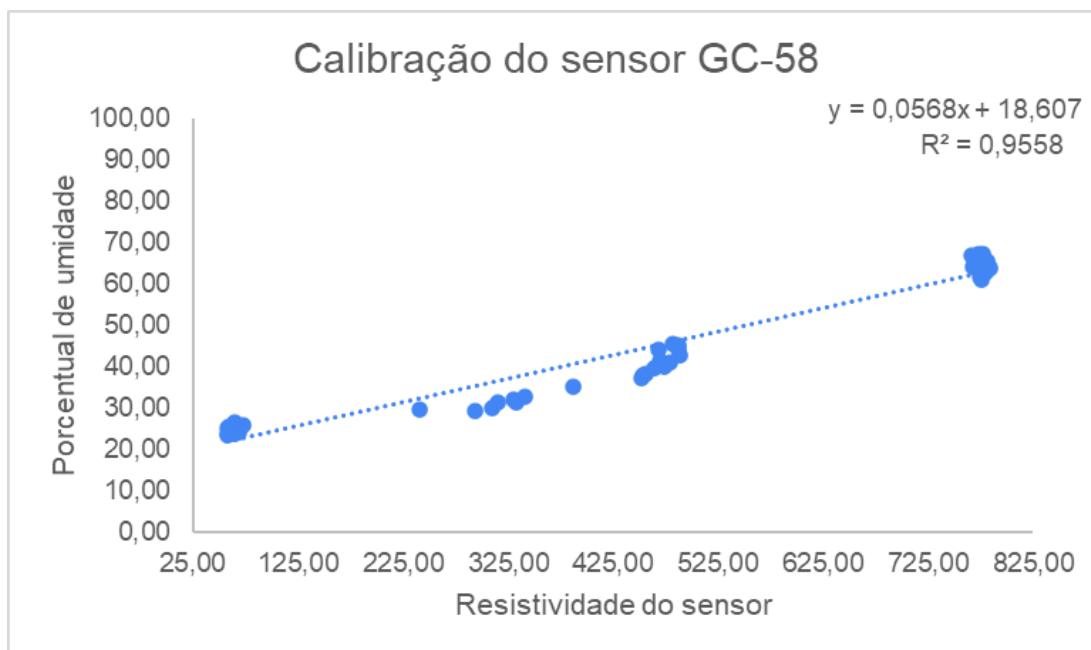
A análise das amostras foi realizada relacionando a variável do valor apresentado pela resistividade do sensor e a variável da porcentagem de umidade obtida. O resultado apresentou alta relação entre as variáveis com  $R^2 = 0,9558$  e Coeficiente de Person = 0,9761. A equação resultante foi determinada pela expressão apresentada na Equação 2 e a curva de tendência determinante para essa equação resultante da calibração do sensor GC-58 é apresentada na Figura 9.

$$y = 0,0568x + 18,607 \quad \text{eq. 2.}$$

Onde:

y: valor de calibração resultante (porcentual de umidade)

x: resistividade do sensor



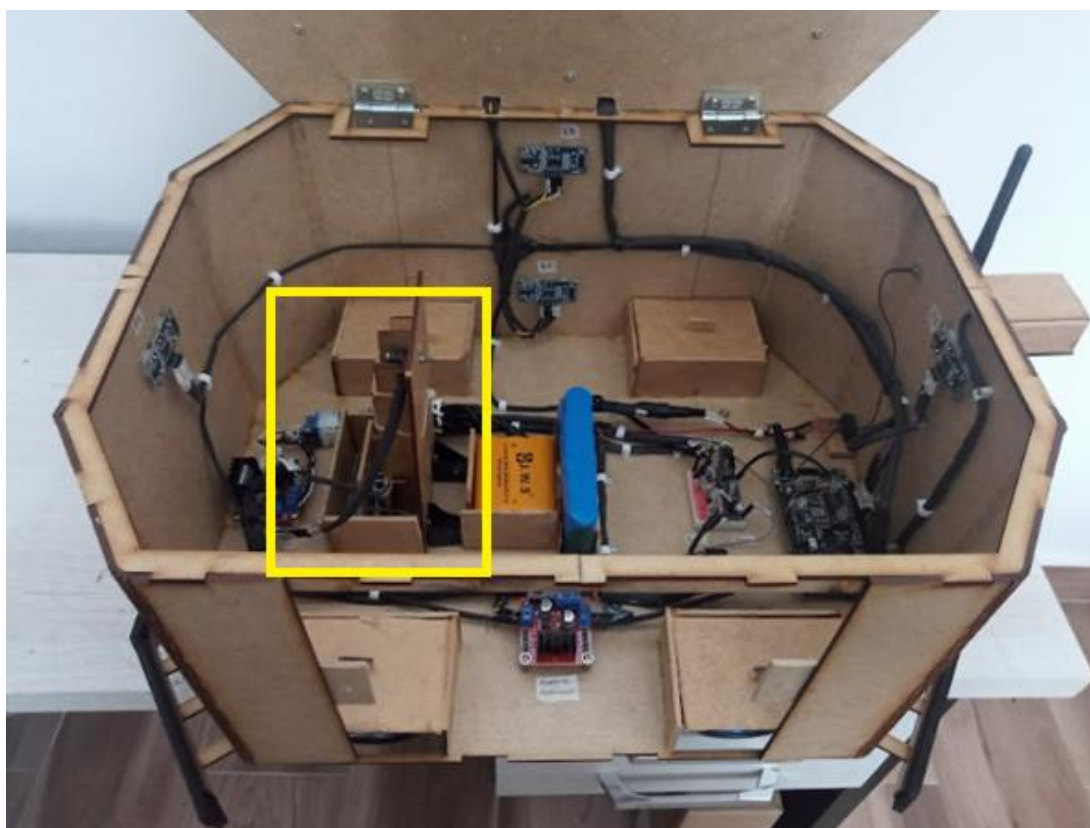
**Figura 9.** Curva de Ajuste resultante da calibração do sensor GC-58.

#### 7.4. Avaliação e determinação da umidade em aviário comercial

Este trabalho foi submetido, analisado e aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo, sob protocolo número 7364090322. Para a execução deste projeto foi realizada uma parceria com um produtor de frangos de corte da linhagem Cobb localizado na cidade de Itatiba, São Paulo, Brasil, distante cerca de 64km da capital São Paulo localizado na Latitude: -23.0068, Longitude: -46.8387, 23° 0' 24" Sul, 46° 50' 19" Oeste; de altitude 771 m; e caracterizada como clima subtropical úmido com classificação climática de *Köppen-Geiger*: Cfa. O aviário utilizado foi de pressão negativa, com as dimensões de 135m de comprimento, por 14m de largura, pé direito de 3m, composto por placas evaporativas, ventiladores do tipo exaustores e contava também com um sistema eletrônico de monitoramento de umidade relativa do ar e temperatura do ar seco (marca inoBram, modelo SMAAI 3

PE) que atuava de forma automática. A cama era constituída integralmente por maravalha de madeira e estava em sua segunda utilização (segunda criação).

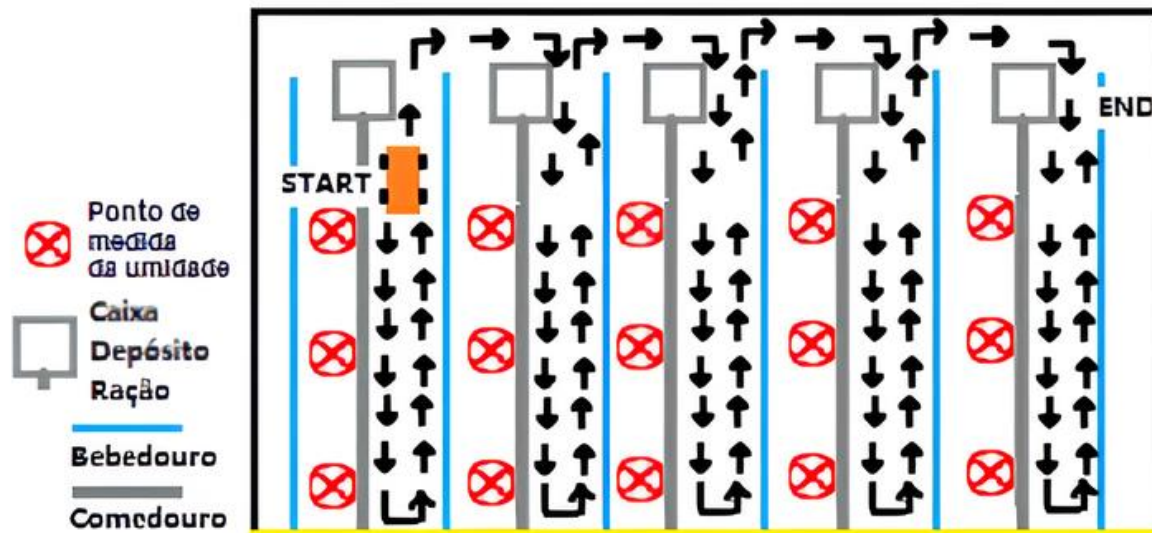
O dispositivo desenvolvido como objeto deste estudo foi acoplado a uma estrutura robótica previamente construída pelo NUPEA/ESALQ/USP. Essa estrutura foi um protótipo de robô que utilizou quatro motores com rodas de 85mm possuindo as dimensões de 40cm de comprimento, 30cm de largura, 26cm de altura, 450g de peso controlado pelo microcontrolador WemosR3 Mega + ESP8266. A Figura 10 apresenta este protótipo robótico.



**Figura 10.** Protótipo robótico: visão interna com destaque (amarelo) para o dispositivo de medição da umidade da cama.

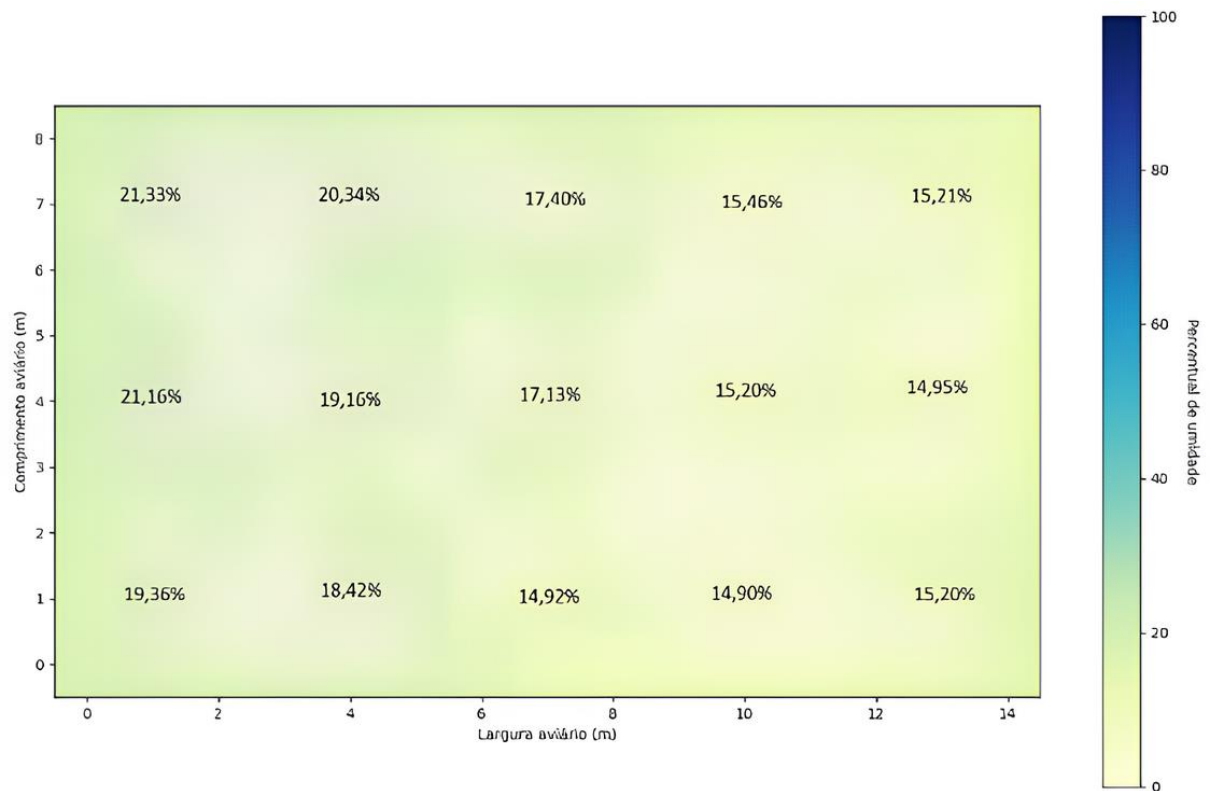
Os testes foram realizados no período de 22/11/2022 e 27/12/2022 e nesta oportunidade foi avaliado o estado da umidade da cama de frango durante um ciclo de criação de frango de corte completo (6 semanas). O protótipo robótico se deslocou pelo aviário orientando-se pelas linhas de comedouro de acordo com o esquema apresentado na Figura 11, portanto, ele criou uma trajetória de deslocamento partindo do início até o final de uma linha de comedouro e, posteriormente, identificando a linha de comedouro seguinte e repetindo o processo

até finalizar todas as 5 linhas existentes. O elemento robótico foi programado para que em cada linha identificasse e contasse os comedouros e a cada 5 comedouros realizasse uma parada (stop) no seu deslocamento e realizada a medição da umidade da cama com a execução do dispositivo, permitindo realizar a medição em 3 pontos para cada linha de comedouro.

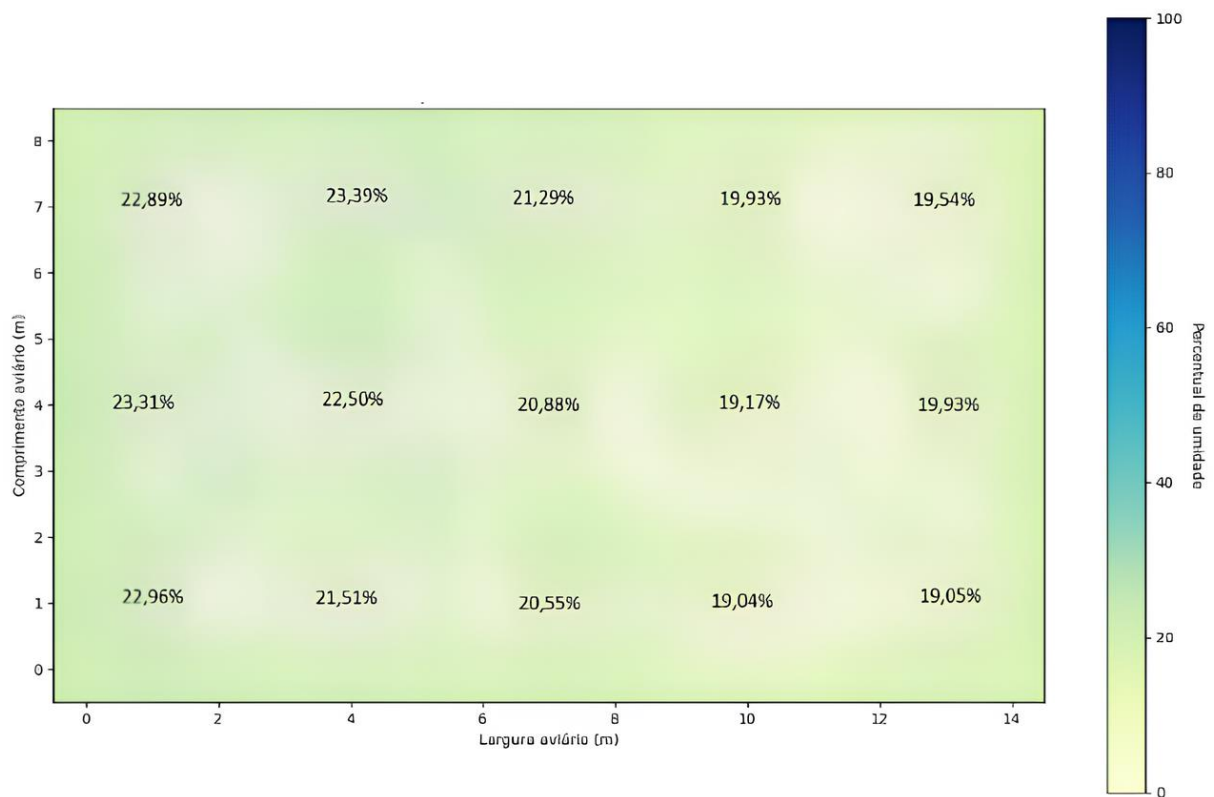


**Figura 11.** Mapa do deslocamento do protótipo robótico e os pontos de medição da umidade na cama.

As medições realizadas pelo sensor GC-58 foram programadas para conversão de acordo com a Equação 2. Para a demonstração dos resultados, os dados após as devidas transformações foram manipulados na linguagem de programação *Python*, por meio do *Google Colab*, onde foram gerados os mapas de calor das medições da umidade (Figuras 12 a 17).



**Figura 12.** Mapa da distribuição da umidade na cama: semana 1.



**Figura 13.** Mapa da distribuição da umidade na cama: semana 2.

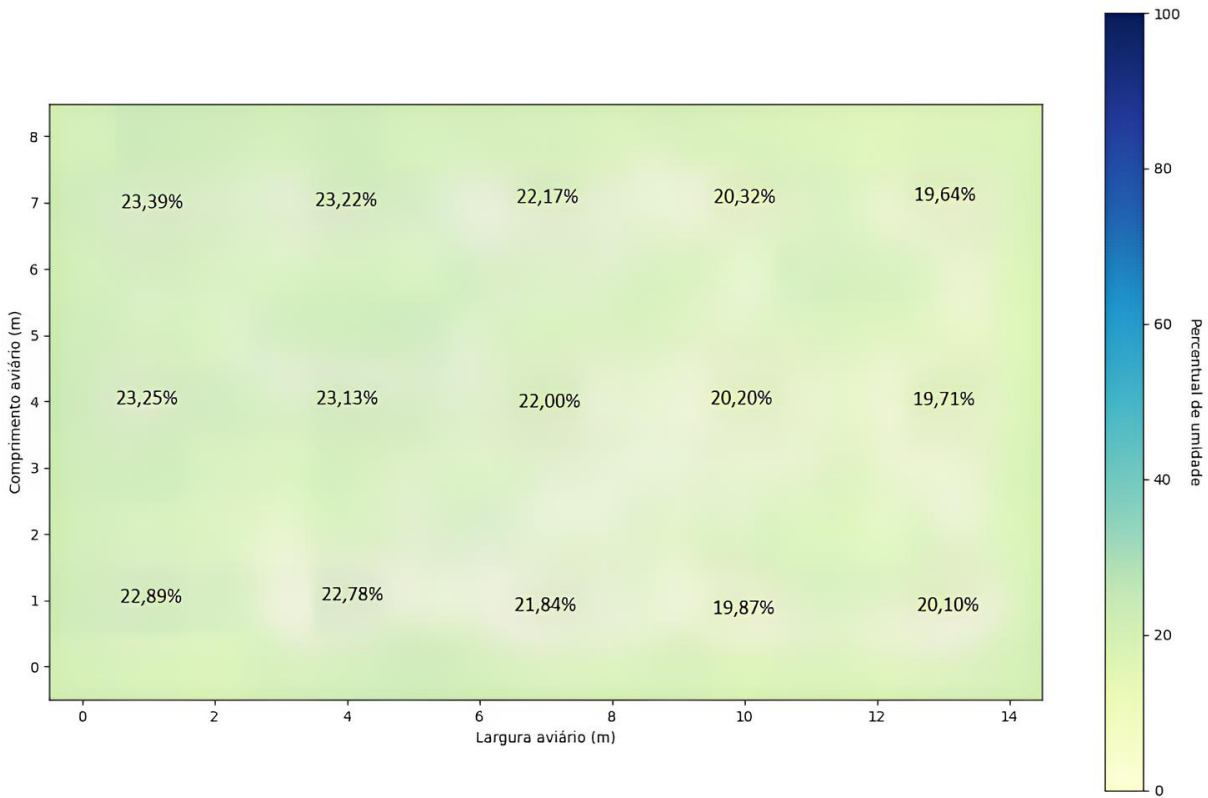


Figura 14. Mapa da distribuição da umidade na cama: semana 3.

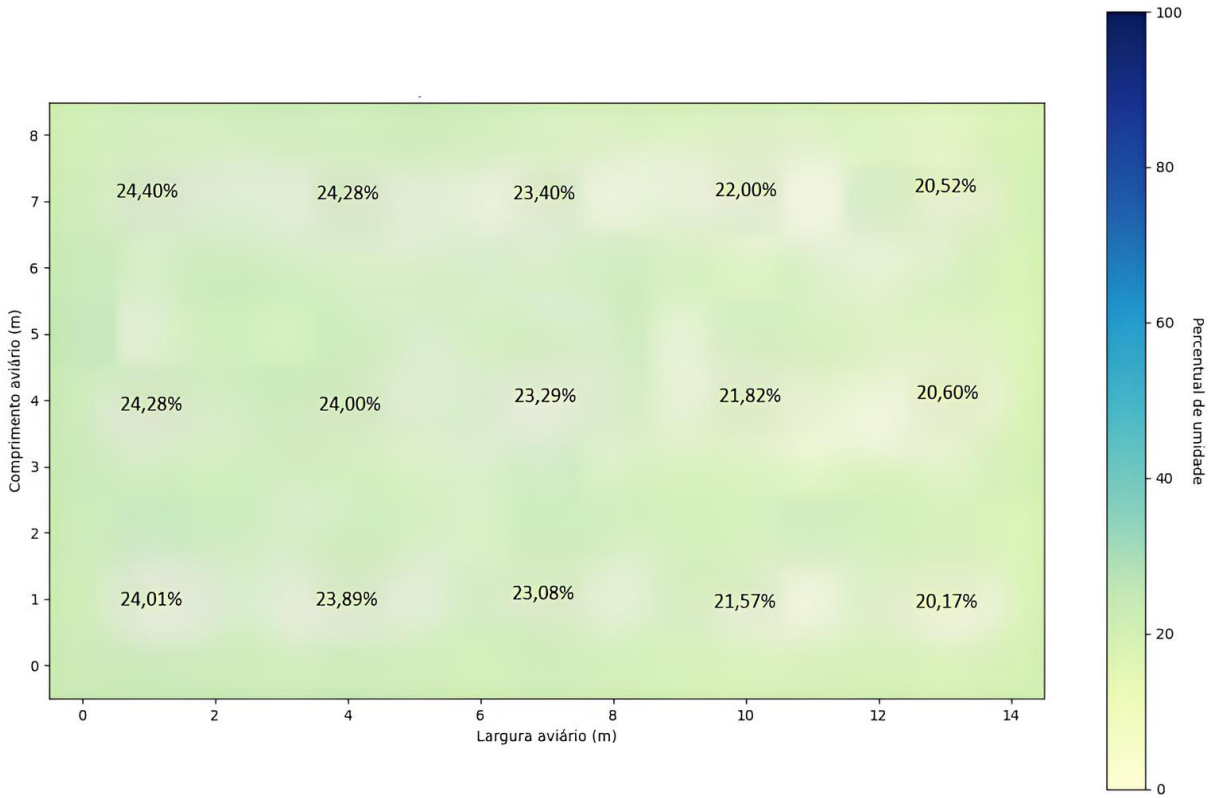
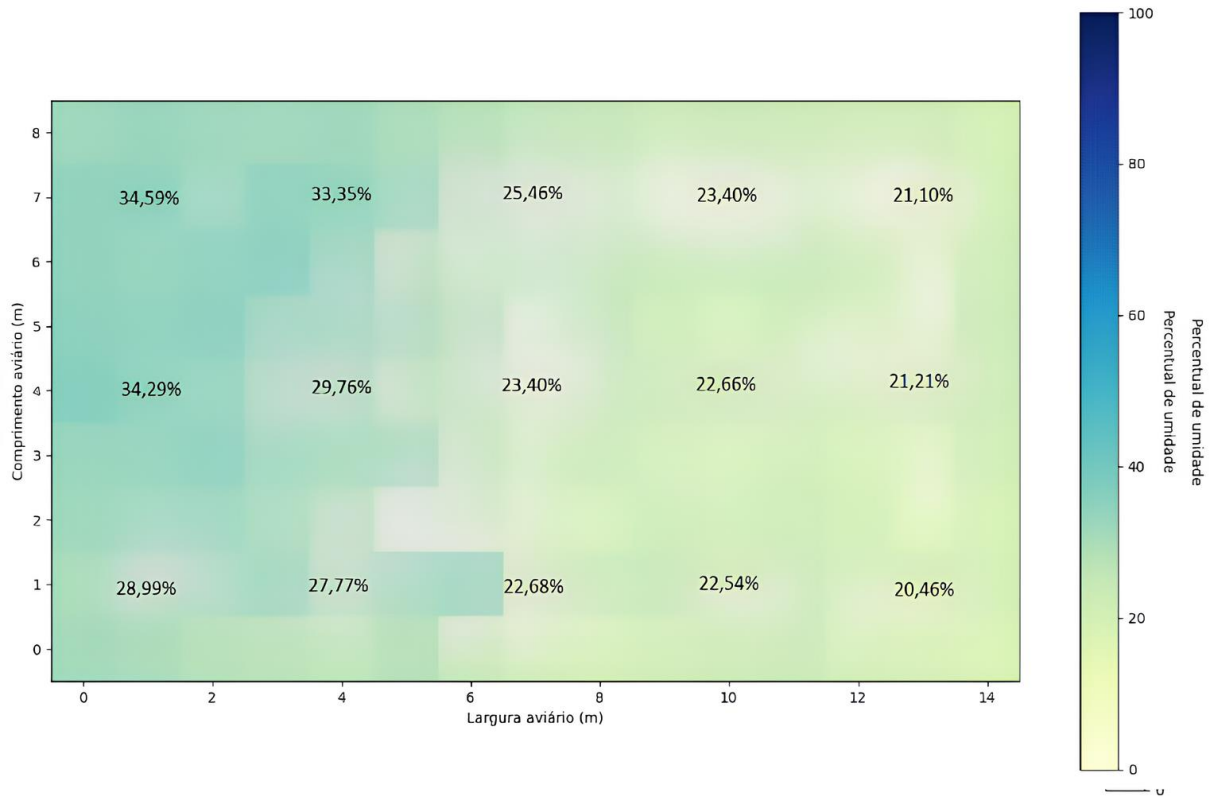
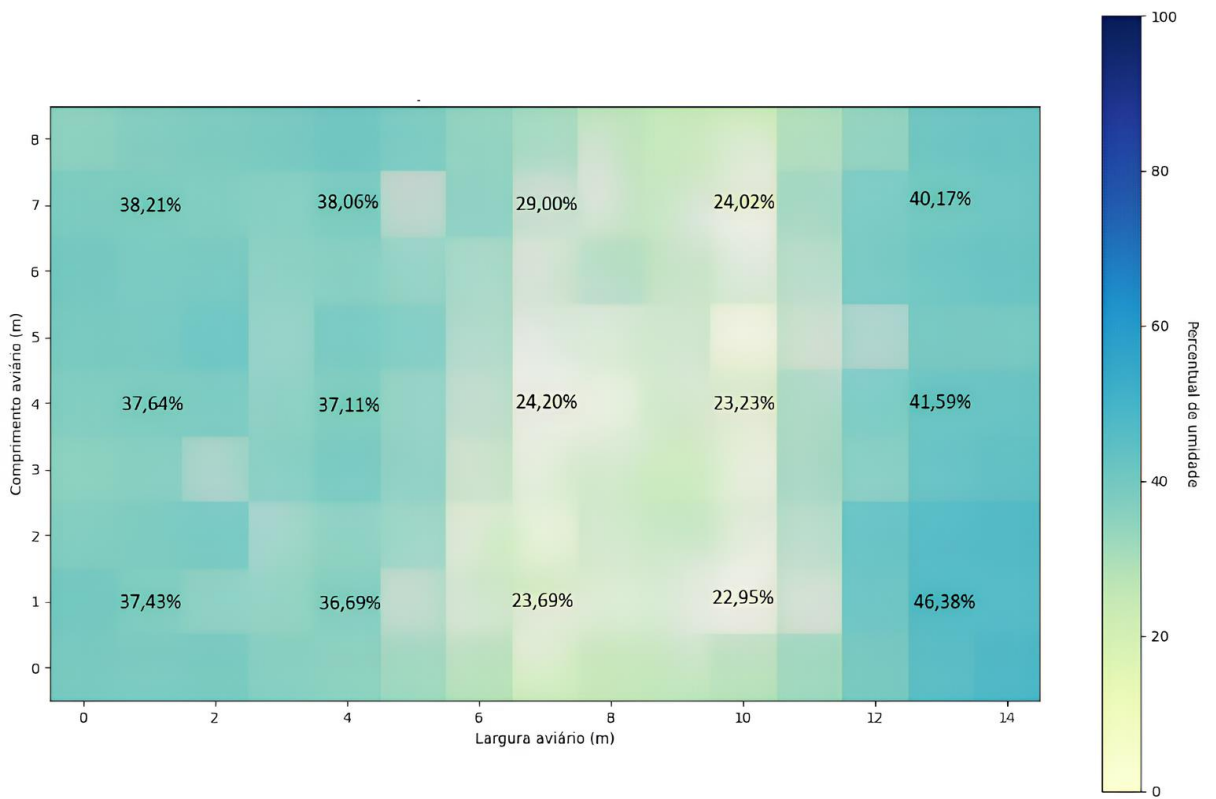


Figura 15. Mapa da distribuição da umidade na cama: semana 4.



**Figura 16.** Mapa da distribuição da umidade na cama: semana 5.



**Figura 17.** Mapa da distribuição da umidade na cama: semana 6.

Os valores das medidas estatísticas da umidade da cama (nível de confiança em 95%) são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Medidas estatísticas da umidade na cama (valores expressos em %).

| <b>Semana</b> | <b>Média</b> | <b>Taxa<br/>Variação</b> | <b>Erro<br/>Padrão</b> | <b>Desvio<br/>Padrão</b> | <b>Mínimo</b> | <b>Máximo</b> |
|---------------|--------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|---------------|---------------|
| 1             | 17,34        | -                        | 0,63                   | 2,44                     | 14,91         | 21,33         |
| 2             | 21,06        | 21,45                    | 0,42                   | 1,62                     | 19,04         | 23,39         |
| 3             | 21,64        | 2,75                     | 0,38                   | 1,48                     | 19,65         | 23,39         |
| 4             | 22,76        | 5,18                     | 0,01                   | 0,01                     | 20,17         | 34,13         |
| 5             | 26,12        | 14,76                    | 0,01                   | 0,05                     | 20,47         | 34,60         |
| 6             | 33,36        | 27,72                    | 0,02                   | 0,08                     | 22,95         | 46,39         |

De acordo com os valores de umidade de cama apresentados na Tabela 2 foi estipulado como média para análise neste trabalho os valores: mínimo 22,50% e máximo 31,67%. Os resultados da média (Tabela 2) demonstram que o ciclo de criação iniciou-se com teor de umidade na cama baixo (semana 1: 17,34%) elevando-se ao longo das semanas (semana 6: 33,36%) com uma taxa de variação positiva de 92,39% (ANDERSON et al., 2021) fato que corrobora com estudos de Gonçalves et. al, (2019) e Almeida, (1976) que demonstram que a umidade da cama tende a aumentar ao longo das semanas por conta do despejo de excretas dos animais e possíveis vazamentos de água dos bebedouros.

As quatro primeiras semanas não apresentaram valores elevados de umidade, porém, a quinta e a sexta semana apresentaram respectivamente 3 e 9 pontos de umidade elevados (todos acima de 31,67%) indicando os pontos no aviário que necessitam de revolvimento da cama para evitar a formação de placas ou locais de umidade excessiva que podem ocasionar no aumento da população microbiana na cama e como consequência aumento de patógenos (SILVA, 2011) além do aumento da probabilidade de incidência de pododermatites, lesões no

peito, queimaduras de pele, condenações e/ou perdas de qualidade da carcaça (GONÇALVES, 2019).

Os indicadores de umidade mínima (22,50%) foram identificados com maior frequência na cama sendo maiores nas semanas iniciais e menores nas finais: 15 na primeira semana, 10 na segunda, 9 na terceira, 6 na quarta, 3 na quinta e 0 na sexta. Baixos índices de umidade ocasionam maior concentração de poeira no aviário predispondo os animais a maior incidência de doenças respiratórias e sendo a segunda maior causa de anormalidades que condenam total ou parcial as carcaças no abate (GONÇALVES, 2019; NÄÄS et al., 2007; PINTO et al., 1993; BRASIL, 1985).

A variabilidade espacial da umidade da cama em aviários é multifatorial pois depende de fatores que podem ser controlados pelo produtor e durante o manejo da cama: densidade populacional, tipo de cama (capacidade absorção), ventilação, número de uso da cama, sistema de resfriamento eficiente ao longo de todo aviário, dentre outras. Portanto, um sistema eletromecânico que possa mensurar a umidade da cama com eficiência e precisão, poderá garantir uma visão da variabilidade espacial desta umidade fornecendo condições de tomadas de decisões assertivas pelo produtor.

## **7.5 Conclusões**

Este artigo apresentou as etapas de construção e a validação de um dispositivo eletromecânico capaz de penetrar e medir a umidade na cama de frango em tempo real, por meio de um mecanismo robótico móvel, identificando pontos e mapeando a variabilidade espacial em todo o aviário. O dispositivo apresentado poderá ser acoplado a diferentes sistemas que permitam avaliar em toda a extensão dos galpões a umidade em tempo real, sendo capaz de coletar, armazenar localmente e transmitir os dados em tempo real.

## **Agradecimentos**

A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), por meio do projeto número 2022/0744-2, pelo financiamento do projeto para compra de todos os equipamentos utilizados nesta pesquisa.

## Referências

ALMEIDA, Danilo. Sensor de umidade do solo com Arduino – Higrômetro. 2017. Disponível em:< <https://portal.vidadesilicio.com.br/sensor-de-umidade-do-solo-higrometro/>>. Acesso em: junho de 2019.

ALMEIDA, M. A. C. Fatores que afetam a umidade da cama. *Avicultura Industrial*, 76:16-18, 1986.

ANDERSON, David R.; SWEENEY, Dennis J.; WILLIAMS, Thomas A.; CAMM, Jeffrey D.; COCHRAN, James J.. *Estatística Aplicada a Administração e Economia*. 8. ed. São Paulo: Cengage Learning Edições Ltda, 2021. 784 p.

ANGELO, João Carlos de; GONZALES, Elisabeth; KONDO, Nancy; ANZAL, Nelson Haruo; CABRAL, Maurício Medeiros. Material de cama qualidade, quantidade e efeitos sobre o desempenho de frangos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 1, n. 26, p. 121-130, jan. 1997.

ARAÚJO, Fernando Godinho de. Bem-estar e ambiência de aves. *Rede E-Tec Brasil*. Urutaí / Go, p. 1-1. jan. 2013.

BURNETT, William E. Gases and Odors from Poultry Manure: a selected bibliography. *Poultry Science*, [S.L.], v. 50, n. 1, p. 61-63, jan. 1971. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.3382/ps.0500061>.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Regras para análise da qualidade e produtividade. Brasília: MDA, 1992. 180p.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Boletim Estatístico SERPA/SP São Paulo: Delegacia Federal de Agricultura de São Paulo. 1985. 28 p. (Boletim Técnico).

CAMPOS, Joana Filipa da Rocha. Avaliação do bem-estar animal em frangos de engorda em regime intensivo. 2015. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Medicina Veterinária, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2015.

CARVALHO, Thayla Morandi Ridolfi de; MOURA, Daniella Jorge de; SOUZA, Zigomar Menezes de; SOUZA, Gustavo Soares de; BUENO, Leda Gobbo de Freitas. Qualidade da cama e do ar em diferentes condições de alojamento de frangos de corte. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, [S.L.], v. 46, n. 4, p. 351-361, abr. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2011000400003>.

CENGİZ, Ö.; HESS, J.B.; BILGILI, S.F. Effect of bedding type and transient wetness on footpad dermatitis in broiler chickens. *Journal Of Applied Poultry Research*, [S.L.], v. 20, n. 4, p. 554-560, dez. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.3382/japr.2011-00368>.

DORNELAS, Karoline Carvalho; MASCARENHAS, Nágela Maria Henrique; ROCHA, Priscila Almeida dos Santos da; TON, Ana Paula Silva; AMARAL, Adriana Garcia do; SCHNEIDER, Roselene Maria; BRITO, Alícia Nayana dos Santos Lima de; FURTADO, Dermeval Araújo; NASCIMENTO, José Wallace Barbosa do. Chicken bed reuse. *Environmental Science And Pollution Research*, [S.L.], v. 30, n. 14, p. 39537-39545, 14 fev. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-023-25850-8>.

EURACHEM, CITAC, Quantifying uncertainty in analytical measurement, Guide CG4, 3rd ed., Eurachem, 2012. Disponível em: [https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/QUAM2012\\_P1.pdf](https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/QUAM2012_P1.pdf). Acesso em: 03/06/2022.

FIGUEIRA, Samantha Verdi; NASCIMENTO, Gisele Mendanha; MOTA, Bárbara de Paiva; LEONÍDIO, Angélica Ribeiro Araújo; ANDRADE, Maria Auxiliadora. Bem-estar animal aplicado a frangos de corte. *Enciclopédia Bioesfera: Centro Científico Saber*. Goiânia, p. 100-121. jul. 2014.

FUNDUINO. Sensor de Umidade. 2022. Disponível em: <https://funduino.de/nr-17-feuchtigkeitssensor>. Acesso em: 03 jun. 2022.

FREITAS, Sônia Maria de. Metodologia Estatística para Validação de Métodos Analíticos Aplicável à Metrologia em Química. 2003. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Metrologia Para Qualidade Industrial., Puc-Rio, Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: [https://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0116460\\_03\\_cap\\_03.pdf](https://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0116460_03_cap_03.pdf). Acesso em: 03 jun. 2022.

GONÇALVES, Nariane Silva; KOMIYAMA, Claudia Marie; LIMA, Juliana de Fátima Pereira de; MORAES, Marcela Daiana Gouveia de; SAVEGNAGO, Fátima Balbino; MEZZALIRA JÚNIOR, Carlos; ROSA, Claudineli Cássia Bueno da; STAUB, Lidiane. Qualidade da cama de frango de corte e a alternativa da acidificação como tratamento. *Nativa*, [S.L.], v. 7, n. 6, p. 828, 11 nov. 2019. *Nativa*. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i6.7041>.

GROBE, Morgana Dayane. Qualidade de cama na produção de frangos de corte: revisão de literatura. 2020. 38 f. TCC (Graduação) - Curso de Medicina Veterinária, Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, Sc, 2020.

JONG, Ingrid C. de; GUNNINK, H.; VAN HARN, J.. Wet litter not only induces footpad dermatitis but also reduces overall welfare, technical performance, and carcass yield in broiler chickens. *Journal Of Applied Poultry Research*, [S.L.], v. 23, n. 1, p. 51-58, mar. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.3382/japr.2013-00803>.

JORGE, Maria Paula Balduino et al. Desempenho de frangos de corte criados sobre dois tipos de cama e suas densidades. *Desafios - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins*, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 221-228, 1 dez. 2020. Universidade Federal do Tocantins. <http://dx.doi.org/10.20873/uftsuple2020-8624>.

LOPES, Jackelline Cristina Ost. *Avicultura*. Natal: Secretaria de Educação A Distância da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2011. 96 p.

NI, Ji-Qin; ERASMUS, Marisa; JONES, Deana R.; CAMPBELL, Dana L.M. Effectiveness and characteristics of a new technology to reduce ammonia, carbon dioxide, and particulate matter pollution in poultry production with artificial turf floor. *Environmental Technology & Innovation*, [S.L.], v. 29, p. 102976, fev. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eti.2022.102976>.

NORTH, Mark O; BELL, D D. Commercial chicken production manual. 4. ed. New York: Chapman & Hall, 1990. 913 p.

MARTLAND, M.F. Ulcerative dermatitis dm broiler chickens: the effects of wet litter. *Avian Pathology*, [S.L.], v. 14, n. 3, p. 353-364, jul. 1985. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/03079458508436237>.

NÄÄS, Irenilza de A.; MIRAGLIOTTA, Miwa Y.; BARACHO, Marta dos S.; MOURA, Daniella J. de. Ambiência aérea em alojamento de frangos de corte: poeira e gases. *Engenharia Agrícola*, [S.L.], v. 27, n. 2, p. 326-335, ago. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-69162007000300001>.

PINTO, F.G.; CURI, P.R.; TOLEDO, M. Evolução da condenação avícola no Estado de São Paulo (1985 a 1990): tendências anuais e estacionais. *Veterinária e Zootecnia*, São Paulo, v.5, p.45-50, 1993.

SANTOS, Thays Luany Lima. Qualidade da cama de frango: fatores modulatórios. 2021. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Zootecnia, Instituto Federal Goiano, Ceres, Go, 2021.

SILVA, V.S. Estratégias para reutilização da cama de aviário. Conferencia Facta, de ciência e tecnologia avícolas, Santos, SP, 2011.

SOUZA, J. C. P. V. B. Definição de boas práticas de reutilização da cama do aviário. 2005. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/17981212/embrapa-participara-de-definicao-de-boas-praticas-de-reutilizacao-da-cama-do-aviario>>. Acesso em 12 julho de 2023.

SHAH, Nishant; YADAV, Rakesh Kumar; GAUTAM, Anil; SHAH, Shambhu; GUPTA, Mohan Kumar. Carbonized Rice Husk as an Effective Bedding Material for Broiler to Reduce Burden of E. coli through Minimization of Ammonia Production from Litter. *Veterinary Sciences: Research and Reviews*, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 65-70, jun. 2022. ResearchersLinks Ltd. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.vsrr/2022.8.1.65.70>.

WU, Dihua; CUI, Di; ZHOU, Mingchuan; YING, Yibin. Information perception in modern poultry farming: a review. *Computers And Electronics In Agriculture*, [S.L.], v. 199, p. 107131, ago. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2022.107131>.

## 8 EXECUÇÃO, AVALIAÇÃO E ANÁLISE DO ROBÔFRANGO: PROVA DE CONCEITO PARA UM AGENTE BIOSENSOR

### Resumo

A robótica possui a percepção do ambiente como uma característica necessária para orientação e navegação. Expandir essa percepção para capturar as variáveis ambientais na avicultura de corte é uma hipótese que se justifica perante a comparação dessa percepção em relação aos sensores industriais que ficam localizados em altura diferente aos animais. Isso possibilita realizar análises variadas das condições do microclima na altura animais e na altura dos sensores industriais. Este trabalho apresenta a prova de conceito para o RobôFrango um agente biosensor capaz de se deslocar por um aviário comercial de frangos de corte coletando as variáveis que caracterizam o microclima. Objetivou-se compreender a capacidade de um robô em coletar dados e posteriormente analisar estes dados, por meio de modelagem estatística, para caracterizá-lo como um agente biosensor. Variáveis ambientais de interesse à avicultura foram coletadas nas três partições de um aviário comercial por meio da utilização de três sensores ambientais construídos especificamente para este projeto. Os resultados apresentaram as médias da comparação entre sensores determinando quando existia diferença significativa entre a percepção do frango em relação ao seu microclima (30cm da cama) e ao microclima dos sensores industriais (2m da cama).

**Palavras chaves:** RobôFrango, Robótica na avicultura de corte, Agente biosensor, Microclima em aviário.

### Abstract

Robotics has the perception of the environment as a necessary characteristic for orientation and navigation. Expanding this perception to capture environmental variables in poultry farming is a hypothesis that is justified by comparing this perception in relation to industrial sensors that are located at a different height to the animals. This makes it possible to carry out varied analyzes of the microclimate conditions at animal height and at the height of industrial sensors. This work presents the proof of concept for RobôFrango, a biosensing agent capable of moving through a commercial broiler aviary collecting the variables that characterize the microclimate. The objective was to understand a robot's ability to collect data and subsequently analyze this data, through statistical modeling, to characterize it as a biosensing agent. Environmental variables of interest to poultry farming were collected in the three partitions of a commercial poultry house using three environmental sensors built specifically for this project. The results presented the averages of the comparison between sensors determining when there was a significant difference between the chicken's perception in relation to its microclimate (30cm from the bed) and the microclimate of the industrial sensors (2m from the bed).

**Keywords:** RobotChicken (RobôFrango), Robotics in poultry farming, Biosensor agent, Microclimate in poultry farms.

## 8.1. Introdução

A robótica na avicultura de corte apresenta diversos robôs comerciais como por exemplo PoultryBot (VROEGINDEWEIJ et al., 2018), OctopusRobot (REN et al., 2020), ChickenBoy (REN et al., 2020), Lavicole (LAVICOLE ROBOT, 2020) e Spoutnic Nav (SPOUTINIC NAV, 2016). Todos estes robôs realizam tarefas específicas no sistema produtivo como análise do comportamento animal, controle sanitário, manejo para bem-estar e saúde e monitoramento ambiental (CHEN et al., 2023; FEI et al., 2023; LIN et al., 2023; KIM et al., 2021; LI et al., 2021; YANG et al., 2021; FENG, WANG, 2020; REN et al., 2020; POULTRY PATROL, 2019). Diversos estudos enfatizam a importância do monitoramento ambiental para a garantia das condições ideais para desenvolvimento do frango de corte relacionadas ao seu desempenho zootécnico e genético (SPIESS et al., 2022; PEREIRA et al., 2020; BACH et al., 2019).

Considerando que o frango de corte é um animal criado em um sistema artificial e que a garantia das condições ambientais se torna crítica para o desenvolvimento do animal, monitorar o ambiente é imprescindível para tomadas de decisão assertivas em relação a homeostase do animal. Robôs como o PoultryBot e o ChickenBoy realizam o monitoramento das interferências internas do aviário em face das condições climáticas externas por meio dos níveis de temperatura e umidade pois estas variáveis são muito influentes no desempenho zootécnico do animal (COBB, 2019; ROSS, 2018).

A robótica apresenta a percepção como uma característica que permite a navegação nos ambientes e associado a isso pode-se monitorar as condições ambientais (CHENG et al., 2023; REN et al., 2020). Essa associação possibilita a criação da hipótese de que um robô pode ser compreendido como um agente biosensor (um elemento robótico móvel que consegue captar sinais do microclima no ambiente que está inserido). Desta forma, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma estrutura robótica denominada RobôFrango que navega por um aviário de frangos de corte capturando, por meio de diversos sensores, os níveis das variáveis ambientais, agindo como um elemento biosensor.

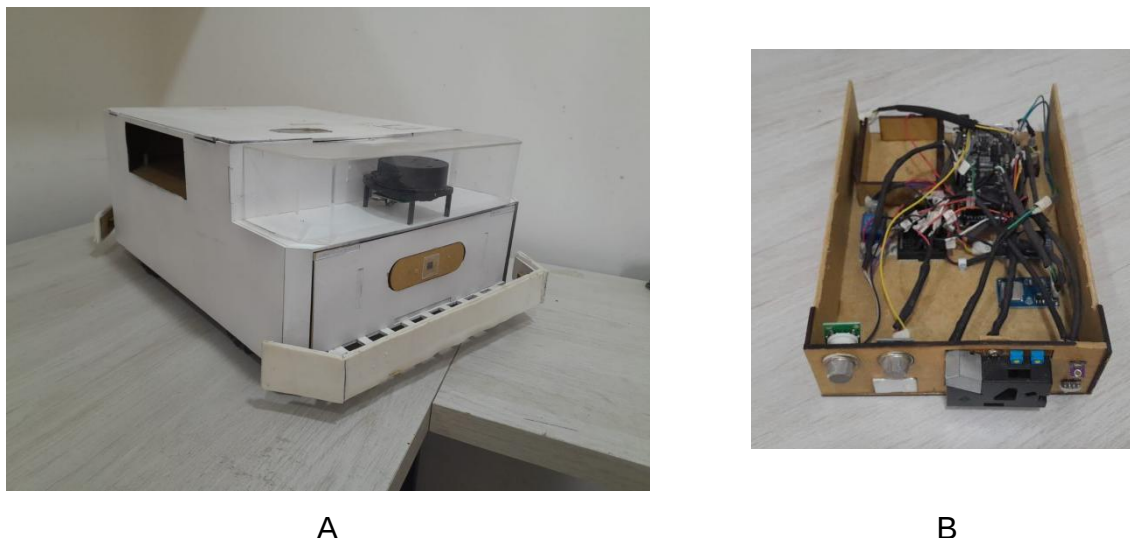
Este trabalho apresenta a validação desse robô (prova de conceito) em um aviário comercial de frangos de corte objetivando compreender a sua capacidade em agir como um agente biosensor capturando as variáveis ambientais para a

transmissão e posterior análise. Os objetivos específicos são: introduzir e executar o robô em um aviário comercial de frangos de corte realizando a análise ambiental; determinar mecanismos que possibilitem a navegação desse robô por meio do uso de tecnologias apropriadas (como p.ex. visão computacional); e realizar análise dos dados obtidos por meio de métodos estatísticos.

## 8.2. Materiais e Métodos

### 8.2.1 RobôFrango (Mínimo Produto Viável [MVP])

O RobôFrango foi criado como uma estrutura robótica capaz de percorrer um aviário comercial de frangos de corte carregando um dispositivo de análise ambiental denominado Sensor Ambiental. O hardware desse robô foi construído a partir de um microcomputador NVIDIA® Jetson Nano™ Developer Kit (Nvidia, Santa Clara, Califórnia, Estados Unidos da América) associado a um sistema de detecção de distâncias baseado em sensor de luz de 360° *Light Detection and Ranging* (LiDAR) modelo RP LiDAR A1 (*Slamtec*, Shanghai, China) e uma câmera modelo Samsung Np350xbe Ba96-07238a (*Samsung*, Yeongtong-gu, Coreia do Sul). O *software* do RobôFrango foi desenvolvido no sistema operacional Ubuntu versão 20.04.6 LTS (Focal Fossa) adaptado para plataforma *Advanced RISC Machine* (ARM) e o código-fonte gerenciador da movimentação do robô foi escrito na linguagem de programação Python versão 2.7.18. O hardware do Sensor Ambiental foi constituído da placa de prototipação rápida MEGA+WiFi R3 ATmega2560+ESP8266 (*Robotdyn*, Hong Kong, China) com os sensores Sensor de Temperatura e Umidade (BME/P 280 [*Bosch Sensortec*, Reutlingen, Alemanha]), Sensor de Monóxido de carbono (MQ-7 [*Winsen Electronics*, Zhengzhou, China]), Sensor de Amônia (MQ137 [*Winsen Electronics*, Zhengzhou, China]), Sensor de Poeira (DSM501A [*Samyoungsnc*, Sang Daewon-song, Coreia do Sul]), Sensor de Luminosidade (TEMT6000 [*Vishay*, Pensilvânia, EUA]), Sensor de Dióxido de Carbono (MHZ 19E [*Winsen Electronics*, Zhengzhou, China]) e sensor de umidade de solo (GC-58 [*Winsen Electronics*, Zhengzhou, China]) sendo que este ficou acoplado ao robô mas foi controlado pelo Sensor Ambiental. A Figura 1A exibe o RobôFrango e a Figura 1B mostra o sensor ambiental.

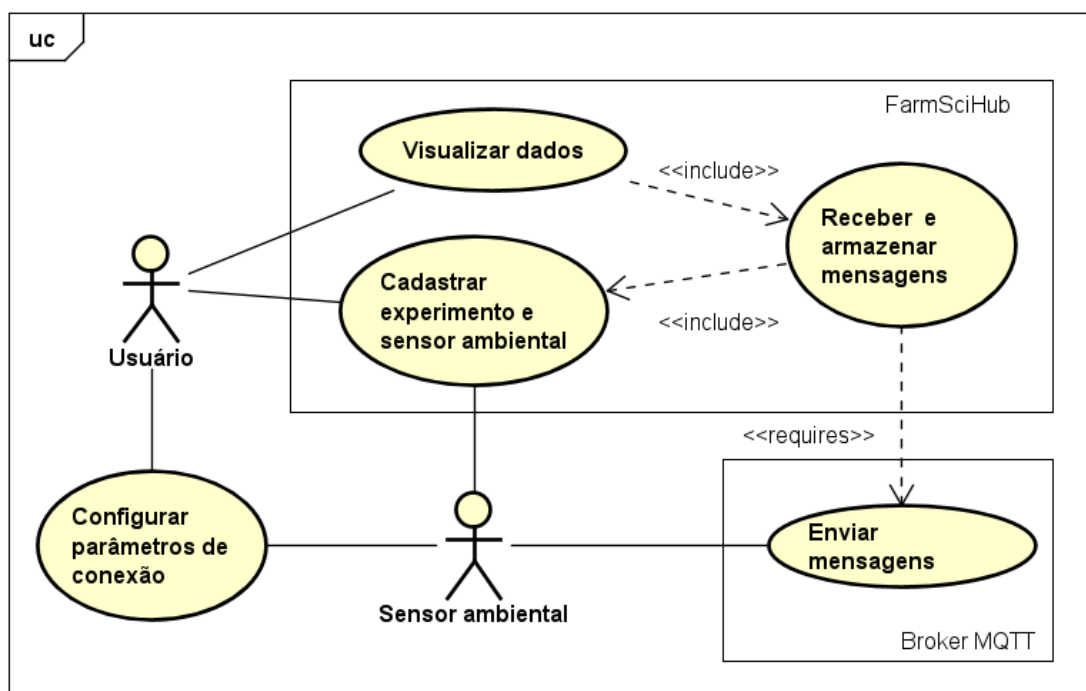


**Figura 1.** Elementos robóticos de sensoriamento ambiental: A) RobôFrango; B) Sensor Ambiental.

O robô foi alimentado por quatro células de baterias LiPO (recarregáveis) modelo 18650 (pack com 6) da marca *Alalito* (Hong Kong, China) de 12v com capacidade para até 50000mAh por meio de uma ligação em série que manteve a tensão de 12V com capacidade para até 50000mAh e aumentou a capacidade para 200000mAh. Um módulo regulador de tensão *step-down* LM2596 foi instalado convertendo a tensão de 12V para 5V para alimentar o Jetson Nano e foi mantido os 12V para alimentar o sistema de motorização. A motorização foi constituída de duas pontes H (driver) L298N (*STMicroelectronics*, Beijing, China) sendo cada uma responsável pelo controle do par de rodas esquerdo e do par direito. Foram utilizados quatro motores 25ga 370 (*XYT Motor Manufacture brand, Shenzhen Xinyongtai Motor Co., Ltd., Shenzhen, China*), de alto torque, tensão de 12V, rotação de 26RPM e força de até 30 kg/cm em *stall* e em *load* de até 15 kg/cm.

Os dados coletados pelos sensores ambientais foram armazenados em memória local (módulo cartão Micro SD Card [*ChipSkey*, Guangdong, China]) e também enviados para um sistema de informação por transmissão via internet, denominado *FarmSciHub* (SILVA, SIQUEIRA, 2024). Tal sistema precisou receber o cadastramento de cada sensor ambiental para possibilitar que o sensor se comunicasse com o sistema enviando os dados coletados por meio de envio de mensagens. A comunicação foi estabelecida via protocolo *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) e o armazenamento realizado em um banco de dados

PostgreSQL. A Figura 2 ilustra um diagrama de casos de uso da UML que contextualiza usuários, sensores ambientais, o sistema FarmSciHub e o gerenciamento das mensagens (feito por um broker MQTT).



**Figura 2.** Casos de uso do sistema *FarmSciHub*. Fonte: Silva, Siqueira (2024).

### 8.2.2 Sistema de deslocamento

O deslocamento do RobôFrango baseou-se na existência de comedouros nos aviários. Ou seja, para se deslocar pelo aviário, o robô utilizou cada uma das linhas de comedouros como guias de trajetória. A implementação do deslocamento do robô foi viabilizada pela combinação de visão computacional e sensoriamento. Nesse sentido, foram utilizadas duas tecnologias: *Ultralytics YoloV8* (JOSHER; CHAURASIA; QIU, 2023) e sensor de distâncias RP LiDAR A1 (SLAMTEC, 2024). Tal combinação permitiu compreender o espaço para movimentação do robô e determinar sua trajetória de deslocamento.

#### 8.2.2.1 Visão computacional (YoloV8)

YoloV8 é um modelo de visão computacional capaz de detectar e segmentar objetos em imagens, inferir estimativa de pose, e realizar a classificação e rastreamento de vários objetos. Para tal, utiliza uma rede neural convolucional como extrator de características (features) e apresenta como resultado a predição da

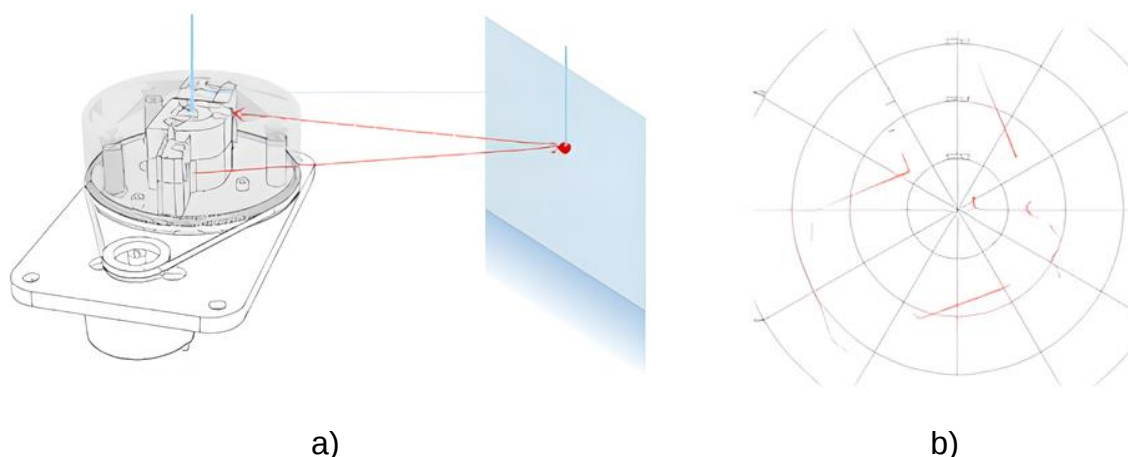
classe à qual pertence um objeto, associado a um grau de certeza sobre aquela predição (confiança). Neste projeto o YoloV8 foi utilizado para detectar os pratos de comedouros existentes nas linhas de comedouros. Isso porque o deslocamento do robô foi guiado pelas linhas de comedouro, ou seja, para se deslocar pelo aviário o robô utilizou cada uma das linhas de comedouro como guia de trajetória (SAJID, 2024; ALVES, 2020).

O método para criar o modelo baseado em YoloV8 para detectar os comedouros constituiu de três etapas principais (CARDOSO et al., 2023). Primeiro, da obtenção de um conjunto de dados de imagens dos comedouros nas linhas. Segundo da rotulação manual desses comedouros nas imagens por meio da criação da classe “comedouro”. E terceiro, do treinamento e teste do modelo baseado em YoloV8 para prever a identificação da classe comedouro.

O conjunto de dados foi constituído de 390 imagens das linhas de comedouro e capturado pela câmera do RobôFrango durante seu deslocamento pelo aviário. Posteriormente, a rotulação dos comedouros presentes nas imagens foi conduzida no *software* Labelimg (versão 1.8.6). A precisão de detecção de 0,796%.

#### **8.2.2.2 Distanciamento de objetos RP LiDAR**

O RP1 LiDAR A1 é uma tecnologia óptica de detecção de objetos que utiliza a luz refletida objetivando determinar a distância dele para o objeto. Para tanto, ele emite um sinal laser infravermelho que é refletido (retorno) pelo objeto que está próximo a ele (SLAMTEC, 2024). O sinal de retorno é amostrado pelo sistema de aquisição de visão produzindo o valor da distância e o valor do ângulo entre o objeto e o RPLIDAR A1 (Figura 3).



**Figura 3.** Funcionamento do RP LiDAR A1: a) envio e retorno do sinal de infravermelho; b) cálculo de distância entre o RP LiDAR A1 e o objeto (Fonte: SLAMTEC, 2024).

O sensor RP LiDAR A1 realizou cálculos geométricos para analisar a distância do robô para qualquer objeto a sua frente e aos seus lados (direito e esquerdo). Isso permitiu compreender uma distância mínima para evitar colisões e máxima para se manter distante da linha de comedouro.

### 8.2.2 Validação em campo e análises

A validação (prova de conceito) do RobôFrango foi proposta para ser realizada em um aviário comercial de frangos de corte. O método de execução foi idealizado no deslocamento do robô nas três partições do aviário considerando cada uma como espaços amostrais independentes. Para cada espaço foi proposto a criação de três tratamentos para análise da ambiência sobre as variáveis de interesse (umidade da cama, luminosidade, temperatura do ar, umidade relativa do ar, monóxido de carbono, amônia, nível de poeira [PM10], dióxido de carbono e entalpia específica do ar) por meio da utilização do Sensor Ambiental (GUNDIM et al., 2015; SCHIASSI et al., 2015; FIGUEIRA et al., 2014; SCHIASSI, 2013; CAMPOS, 2013).

Foram construídas três unidades de Sensor Ambiental (todos iguais, mesma arquitetura de *hardware* e *software*). A distribuição física destes sensores ocorreu da seguinte forma: o primeiro sensor foi fixado no centro geométrico da partição a dois metros da cama denominado Sensor Fixo Alto (SFA) (simulou a percepção da ambiência dos sensores industriais existentes no aviário); o segundo

também no centro geométrico da partição mas a 30cm da cama denominado Sensor Fixo Baixo (SFB) (simulou o nível de percepção fixa da ambiência a altura dos animais); e o terceiro acoplado ao bagageiro do RobôFrango denominado Sensor Móvel Robô (SMR) (simulou a percepção móvel do robô como um agente biosensor ao longo de 35 pontos de cada partição [7 pontos de coleta de dados para cada uma das 5 linhas de comedouro]).

As análises foram divididas em quatro etapas, todas com nível de significância de 95% em todos os casos aplicáveis:

- a) **análise estatística:** análise descritiva e análise da normalidade dos dados (Shapiro-Wilk):
  - i. no caso de dados normais: testou-se a homocedasticidade por meio do teste de Levene; realizou a análise da variância das médias por meio da ANOVA e do teste de Tukey que analisou a diferença entre as médias por pares dos tratamentos objetivando identificar se havia diferença entre os tratamentos observados (caso a ANOVA tenha detectado que não havia diferença significativa entre os grupos foi proposto a execução do teste de Tukey porque considerou-se como pressuposto que o volume de dados era pequeno e que a quantidade de dados por grupos eram iguais) (ANDERSON et al., 2018; FAVERO; BELFIORE, 2017);
  - ii. no caso de dados não normais: testou-se a homocedasticidade por meio do teste de *Fligner-Killeen*; quando ocorria a homogeneidade da variância foi executado o Teste de Conover para comparar todas as possíveis combinações de médias de grupos em uma análise de variância e caso contrário executou-se o teste de *Dunnett* (ANDERSON et al., 2018; FAVERO; BELFIORE, 2017).
- b) **geoestatística:** por meio da técnica de *Krigagem* foi realizada a geração de mapas *krigados* (que representaram a superfície interpolada para cada variável ambiental) e, em seguida, analisou-se os dados geoespaciais objetivando compreender a variabilidade espacial das variáveis ambientais por meio da Análise de Cluster com o uso do algoritmo de aprendizado de máquina não supervisionado K-means (realizou o agrupamento das informações em diversos clusters objetivando minimizar a variância dentro de cada cluster, ou seja, esse algoritmo tentou encontrar grupos nos dados por meio da minimização da

variação dentro de cada grupo; o número de clusters foi arbitrado pelo método da média de *Silhouette* [procura o valor mais alto para determinar o número ótimo de clusters] com limite máximo de 3) (YAMAMOTO, 2020; YAMAMOTO; LANDIM, 2013). Esse algoritmo permitiu identificar padrões especiais nos dados (regiões com semelhanças nos mapas) que puderam ser analisados posteriormente por meio:

- i. índice de Moran: índice que avalia a autocorrelação espacial dos dados geoespaciais identificando padrões de distribuição espacial e assim podendo determinar se há agrupamentos ou dispersões de valores (valores próximos a 1 indicam uma autocorrelação espacial positiva [valores semelhantes tendem a estar agrupados no espaço], valores próximos a -1 indicam uma autocorrelação espacial negativa [valores semelhantes tendem a estar dispersos de forma desigual no espaço] e valores próximos de 0 indicam uma ausência de autocorrelação espacial[não há um padrão espacial significativo nos dados]); e
  - ii. métrica do alcance: fornece informações sobre a estrutura de dependência espacial ou autocorrelação espacial nos dados, ou seja, trata-se de uma medida de quão longe os valores dos pontos no espaço estão auto correlacionados.
- c) **Entalpia:** foi calculada a entalpia específica do ar (h) objetivando apresentar como resultado o índice de conforto animal nas três partições. Os modelos limiares do conforto térmico foram considerados por meio das tabelas de conforto térmico para frangos de corte na quinta semana de produção<sup>6</sup> e o modelo matemático foi proposto por Rodrigues et al (2011) (Equação 1).

**Equação 1** - Cálculo da Entalpia Específica do Ar. Fonte: Rodrigues et al (2011).

$$h = 1.006 * t + \left(\frac{RH}{Pa}\right) * 10^{(7.5*t/237.7+t)} * (71.28 + 0.052 * t) \quad (1)$$

h - entalpia em KJ Kg<sup>-1</sup> dry air;

t - temperatura do ar em °C;

RH - umidade relativa do ar em %;

Pa - pressão atmosférica em mmHg.

<sup>6</sup> Disponível em: <http://www.nupea.esalq.usp.br/pagina/frangos-de-corte/11>

- d) **Umidade da cama:** os valores dos níveis de umidade da cama de frango, das três partições, foram coletados pelo dispositivo acoplado ao robô e controlado pelo Sensor Ambiental Móvel. A equação determinante do nível em porcentagem relativa (Equação 2) foi obtido em experimento anterior (regressão linear) por meio de secagem baseada na Técnica da Estufa (NBR 6457) e certificado por meio da técnica estatística de ajuste de curvas (Equação 3) (ANDERSON et al., 2021).

**Equação 2** - Equação determinante da umidade relativa da cama.

$$y = 0,0568x + 18,607 \quad (2)$$

y - valor de calibração resultante (porcentual de umidade);

x - resistividade do sensor;

**Equação 3** - Cálculo da umidade relativa das amostras. Fonte: (CARVALHO, 2011; BRASIL, 1992).

$$u = \left( \frac{(P_{bi} - P_{bf}) * 100}{(P_{bi} - P_{li})} \right) \quad (3)$$

u - teor de umidade relativa (%)

P<sub>bi</sub> - Peso bruto inicial (g) – antes de ser colocado na estufa

P<sub>bf</sub> - Peso bruto final (g) – depois de ser colocado na estufa

P<sub>li</sub> - Peso líquido inicial (g) – antes de ser colocado na estufa (descontado peso do recipiente: 0,97g)

### 8.2.3 CEUA

Este trabalho foi submetido, analisado e aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo, sob protocolo número 7364090322. Para a execução deste projeto foi realizada uma parceria com um produtor de frangos de corte da linhagem Ross no estado de São Paulo localizado na cidade de Itatiba, Latitude: -23.0068, Longitude: -46.8387, 23° 0' 24" Sul, 46° 50' 19" Oeste; de altitude 771 m; e caracterizada como clima subtropical úmido com classificação climática de Köppen-Geiger: Cfa. Os animais estavam na quinta semana de produção. A temperatura

externa no dia apresentou mínima de 25°C e máxima de 36°C. O aviário utilizado foi do tipo pressão negativa e possuía as dimensões de 135m de comprimento, por 14m de largura, pé direito de 3m, composto por placas evaporativas, ventiladores do tipo exaustores e contava também com um sistema eletrônico de monitoramento de umidade relativa do ar e temperatura do ar seco (marca inoBram, modelo SMAAI 3 PE).

### **8.3. Resultados e Discussão**

#### **8.3.1 Sistema de deslocamento**

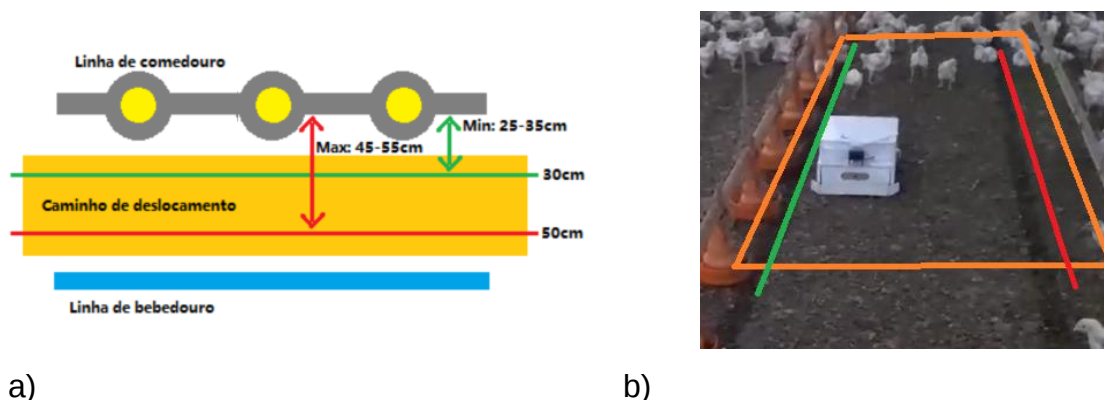
A validação do RobôFrango foi realizada somente no 36º dia de criação. O experimento foi realizado em um único dia (28/03/2024) iniciando as 07:15 (AM) e finalizando as 12:35 (PM). O deslocamento do robô foi orientado pelas cinco linhas de comedouro de cada partição (o robô se deslocou pelo aviário em paralelo às linhas de comedouro, com uma velocidade média de 0,031 m/s). Por um lado, uma solução baseada estritamente na visão computacional apenas mostraria para o robô se havia linha de comedouro para ele seguir, mas não a distância do robô para esses objetos. Desta forma, o robô poderia esbarrar ou colidir com comedouros ou qualquer outro objeto a sua frente, tal como um frango, por exemplo. Por outro lado, uma solução baseada estritamente no sensoriamento da distância não seria capaz de distinguir os objetos ao redor do robô. Deste modo, o robô poderia percorrer uma trajetória diferente da linha de comedouros, desorientando-se e deixando de trafegar pelo aviário como um todo.

Por essas razões, uma solução combinando a visão computacional e o sensoriamento da distância foi proposta. Ela é descrita a seguir. A detecção de objetos viabilizada pela visão computacional permitiu ao robô, enquanto se deslocava pelo aviário, reconhecer os comedouros (Figura 4) e utilizá-los como referência de trajetória. Isso permitiu ao robô, enquanto se deslocava pelo aviário, reconhecer os comedouros e utilizá-los como referência de trajetória (função *task\_camera()* no ANEXO J). Esta parte foi desenvolvida em parceria com uma equipe de pesquisa do Instituto Federal de São Paulo, campus Piracicaba, em parceria com o Laboratório de Inteligência e Robótica Animal (LIRA) do NUPEA-ESALQ.



**Figura 4.** Detecção dos comedouros por visão computacional. Fonte: Cardoso et al. (2023).

Além disso, de acordo com o ângulo do sinal de retorno do RP LiDAR A1 foi possível determinar as laterais direita (entre  $206^{\circ}$  e  $324^{\circ}$ ) e esquerda (entre  $26^{\circ}$  e  $154^{\circ}$ ) e a frente do robô (entre  $335^{\circ}$  e  $25^{\circ}$ ). Esse sinal de retorno foi convertido para a unidade de centímetros e isso foi suficiente para compreender a distância do robô para os objetos em sua proximidade. Os valores de distância máxima e mínima da linha de comedouro foram respectivamente: entre 45-55cm e 25-35cm. De acordo com as especificações apresentadas por Johnson e Godwin (2015), que também determinaram medidas de segurança de navegabilidade à esquerda e à direita a partir das leituras dos sensores ultrassônicos, foi possível estabelecer o caminho de deslocamento como uma faixa ideal de distância para a linha de comedouro entre 30-50cm  $\pm 5$ cm (função lidarRP1() no ANEXO J) (Figura 5).



a)

b)

**Figura 5.** Determinação do deslocamento do robô: a) medidas limítrofes; b) execução.

### 8.3.2 Navegabilidade semi autônoma

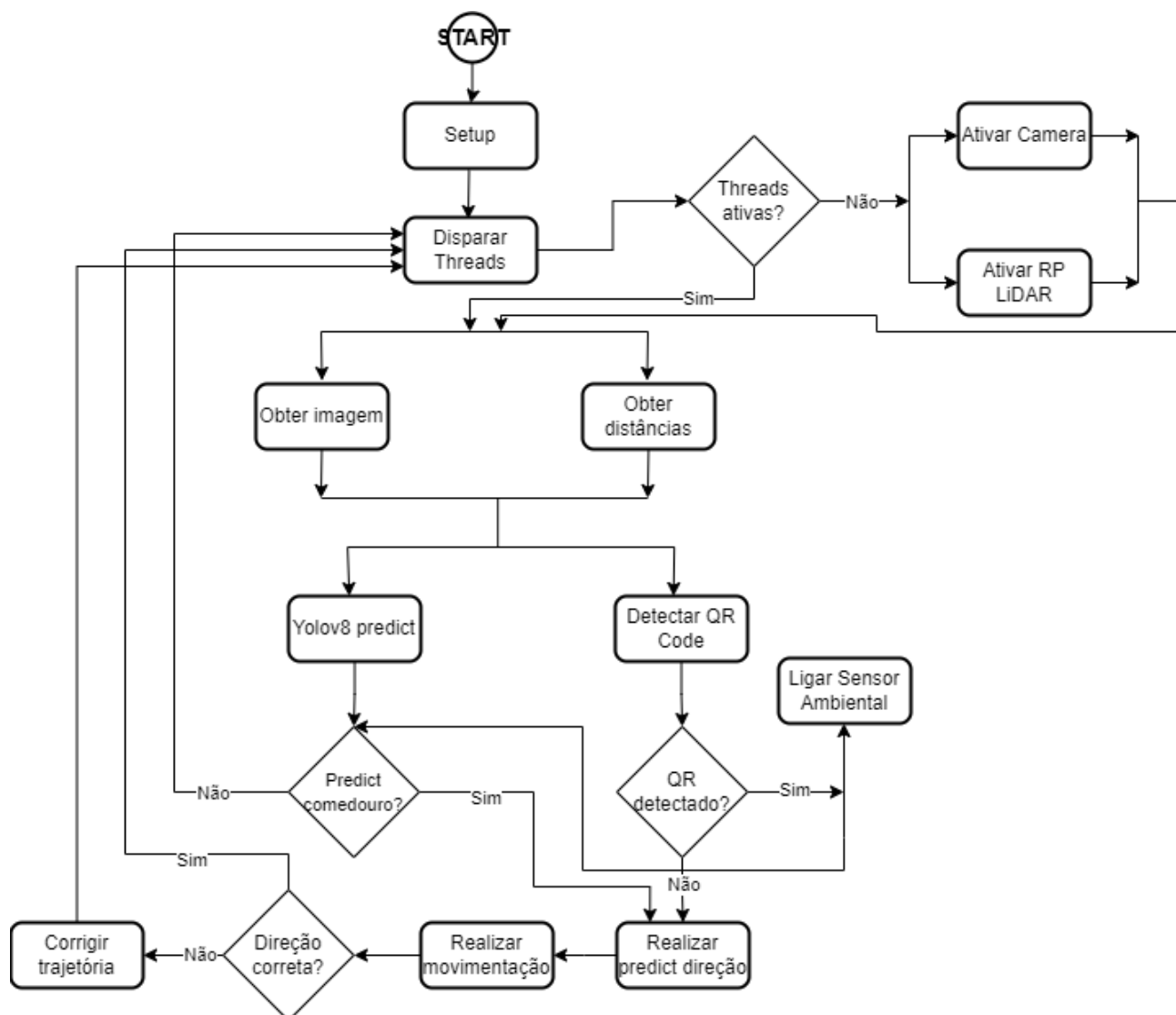
O método de deslocamento do robô foi orientado pelas linhas de comedouro. A visão computacional identificou a presença ou não de comedouros na frente do robô; caso existam comedouros o sensor LiDAR realizou a medição das distâncias (esquerda, direita e frente) em relação aos objetos ao seu lado (animais e linha de comedouro). Essas distâncias foram utilizadas em um algoritmo de inteligência artificial que realizou a predição do comportamento de deslocamento do robô seguindo as medidas definidas anteriormente (buscar). Para treinar esse modelo inteligente, o robô foi movimentado por todo o aviário e todas as medições realizadas pelo LiDAR foram armazenadas em memória seguidas das tomadas de decisão de movimentação (seguir em frente, virar à direita ou virar à esquerda). Em seguida estas medições foram utilizadas para treinar e validar vários algoritmos de Machine Learning objetivando identificar qual modelo melhor se ajustaria na predição da tomada de decisão correta para a movimentação (ANEXO I). Os resultados são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Comparações entre grupos.

| Modelo                            | Acurácia |
|-----------------------------------|----------|
| <i>LogisticRegression</i>         | 70.9923  |
| <i>SVC</i>                        | 72.5190  |
| <i>RandomForestClassifier</i>     | 93.8931  |
| <i>KNeighborsClassifier</i>       | 88.5496  |
| <i>DecisionTreeClassifier</i>     | 92.3664  |
| <i>GradientBoostingClassifier</i> | 92.3664  |
| <i>MLPClassifier</i>              | 90.8396  |

O modelo que apresentou melhor acurácia foi o *RandomForestClassifier*. Em seguida ele foi testado com um conjunto de dados aleatórios da base de dados coletada anteriormente e apresentou uma predição correta de 89,32%. O último passo de validação foi voltar ao aviário e testar a execução do robô com o modelo *RandomForestClassifier* na presença das linhas de comedouro e dos animais. O robô executou uma volta completa na partição 2 (central) e realizou 81 predições de movimentação, sendo 62 corretas e 18 erradas representando uma taxa de acertos de 77,5% e de erros 22,5%. Quando o robô realizava uma predição incorreta a trajetória dele era corrigida manualmente por controle remoto e as predições durante esta correção eram ignoradas.

Contudo não houve treinamento para tomada de decisão inteligente quando o robô chegava ao final das linhas de comedouro e se deparava com a grade de divisão das partições. Neste momento o robô recebia a movimentação por controle remoto objetivando virar, passar por debaixo da linha de comedouro e se posicionar na próxima linha. Quando a posição dele estava correta, o robô iniciava a movimentação autônoma (função lidarRP1() no ANEXO J). Por fim, conclui-se que a movimentação do robô foi realizada de forma semiautônoma, agindo sozinho quando identificava a linha de comedouro e seus pratos de comedouro por visão computacional e aprendizagem de máquina e manual quando se deparava com as grades divisórias. A Figura 6 apresenta o fluxograma que demonstra o algoritmo de movimentação do RobôFrango presente no ANEXO J.



**Figura 6.** Fluxograma de movimentação do RobôFrango.

### 8.3.3 Coleta e análise de dados

Para garantir a uniformidade do lote o aviário estava dividido em três partições físicas (Cobb, 2019). A validação do robô ocorreu em cada uma destas três partições como amostragens independentes. Eurachem (2012) e Freitas (2003) determinam que o número mínimo para amostragem deve ser de 10 pontos, portanto foram determinados 35 pontos amostrais por partição (cada partição era constituída por 5 linhas de comedouro o que determinou 7 pontos de coleta de dados ambientais por linha).

Os pontos de coleta de dados foram identificados por marcações impressas em *Quick Response Code* (QR Code). Assim, o robô foi treinado para identificar e classificar marcações em QR Code por meio da biblioteca *OpenCV* em

*Python* com uso da visão computacional. Cada marcação indicava um ponto de coleta de dados ambientais e sua posição dentro da partição (localização). Os dados coletados foram armazenados em memória local (cartão de memória) e também enviados para um sistema de armazenamento em nuvem (FarmSciHub) por transmissão via internet.

O sistema *FarmSciHub* recebeu os dados dos sensores e os armazenou em um banco de dados, bem como disponibilizou as informações via web site. E portanto, possibilitou acompanhar em tempo real o monitoramento dos dados coletados do ambiente do aviário (Figura 7).



**Figura 7.** Sistema FarmSciHub: a) cadastro dos sensores; b) dados ambientais do sensor móvel; c) dados da pesquisa; d) gráfico da umidade da cama. Fonte: Silva, Siqueira (2024).

### 8.3.3.1 Comparação entre partições

Todas as variáveis de interesse para o agente biosensor foram analisadas nas três partições do aviário individualmente. O resultado dessa análise é apresentado no ANEXO K. A partir dessa análise foi possível realizar uma visão global do aviário a partir da perspectiva do RobôFrango como um agente biosensor. A tabela 2 apresenta os dados comparativos entre grupos e médias dos valores lidos pelos sensores.

**Tabela 2.** Comparações entre grupos.

| Variável                     | Comparações entre grupos |     |            |            |            | Comparações entre médias |         |         |         |
|------------------------------|--------------------------|-----|------------|------------|------------|--------------------------|---------|---------|---------|
|                              | G1                       | G2  | P1         | P2         | P3         | Sensor                   | P1      | P2      | P3      |
|                              |                          |     | P<br>valor | P<br>valor | P<br>valor |                          | Médias  | Médias  | Médias  |
| Temp.<br>do ar               | SFA                      | SFB | 0,001      | 0,001      | 0,001      | SFA                      | 22,81   | 23,65   | 23,99   |
|                              | SFA                      | SMR | 0,001      | 0,001      | 0,001      | SFB                      | 22,27   | 22,85   | 23,80   |
|                              | SFB                      | SMR | 0,857      | 0,990      | 0,310      | SMR                      | 22,23   | 22,84   | 23,36   |
| Lumino-<br>sidade            | SFA                      | SFB | 0,944      | 0,210      | 0,765      | SFA                      | 11,58   | 11,55   | 11,35   |
|                              | SFA                      | SMR | 0,001      | 0,027      | 0,011      | SFB                      | 8,37    | 8,42    | 8,34    |
|                              | SFB                      | SMR | 0,001      | 0,032      | 0,001      | SMR                      | 10,95   | 10,57   | 10,44   |
| Amônia                       | SFA                      | SFB | 0,030      | 0,022      | 0,001      | SFA                      | 6,87    | 8,26    | 8,95    |
|                              | SFA                      | SMR | 0,001      | 0,001      | 0,001      | SFB                      | 6,04    | 7,48    | 8,42    |
|                              | SFB                      | SMR | 0,120      | 0,421      | 0,368      | SMR                      | 5,38    | 4,42    | 3,96    |
| Dióxido<br>de<br>carbono     | SFA                      | SFB | 0,001      | 0,001      | 0,001      | SFA                      | 594,71  | 553,91  | 573,91  |
|                              | SFA                      | SMR | 0,001      | 0,001      | 0,001      | SFB                      | 790,17  | 754,01  | 779,76  |
|                              | SFB                      | SMR | 0,001      | 0,001      | 0,001      | SMR                      | 920,82  | 1058,39 | 995,14  |
| Umidade<br>relativa<br>do ar | SFA                      | SFB | 0,001      | 0,002      | 0,001      | SFA                      | 54,38   | 54,47   | 54,24   |
|                              | SFA                      | SMR | 0,001      | 0,001      | 0,001      | SFB                      | 57,71   | 56,04   | 59,21   |
|                              | SFB                      | SMR | 0,001      | 0,000      | 0,007      | SMR                      | 73,55   | 67,98   | 58,08   |
| PM10                         | SFA                      | SFB | 0,335      | 0,248      | 0,700      | SFA                      | 1534,65 | 1502,18 | 1661,14 |
|                              | SFA                      | SMR | 0,004      | 0,448      | 0,012      | SFB                      | 1347,16 | 1728,25 | 1750,89 |
|                              | SFB                      | SMR | 0,262      | 0,015      | 0,001      | SMR                      | 1158,67 | 1331,22 | 1337,98 |
| Monóxido<br>de<br>Carbono    | SFA                      | SFB | 0,001      | 0,001      | 0,001      | SFA                      | 9,35    | 9,21    | 9,59    |
|                              | SFA                      | SMR | 0,001      | 0,007      | 0,001      | SFB                      | 8,59    | 8,82    | 8,72    |
|                              | SFB                      | SMR | 0,001      | 0,020      | 0,010      | SMR                      | 7,20    | 7,52    | 7,78    |

**G1:** Grupo1; **G2:** Grupo2**P1:** partição 1; **P2:** partição 2; **P3:** partição 3**SFA:** SFA; **SFB:** SFB; **SMR:** SMR

Em seguida, a análise se deu por variável de interesse:

- Temperatura do ar:** Foram detectadas diferenças significativas somente entre SFA/SFB e SFA/SMR nas três partições. Este fato corrobora com estudos de Mascarenhas et al. (2018), Abreu e Abreu (2011) e Sarmiento et al (2005) que afirmam que a temperatura nas partições pode variar de acordo com a altura em relação ao solo devido a fatores como a circulação do ar, a presença de fontes de calor, exposição à radiação solar, calor gerado pela cama e os próprios animais, dentre outros. Além disso, considerando que a temperatura interna sofre alterações por causa da temperatura externa (UTAMA; CHRISTIYANTO, 2021; SOHSUEBNGARM; KONGPECHR; SUKON, 2019; KIC, 2016) constatou-se um aumento gradativo da temperatura ao longo do experimento entre as três partições para cada um dos três sensores com taxa de crescimento entre P1 e P2 de 3,68% e entre P2 e P3 de 1,44% para SFA (acumulado: 5,12%); entre P1 e P2 de 2,61% e entre P2 e P3 de 4,15% para SFB (acumulado: 6,76%); e entre P1 e P2 de 2,74% e entre P2 e P3 de 2,27% para SMR (acumulado: 5,01%). SFB foi o sensor que apresentou maior taxa de crescimento da temperatura demonstrando haver uma diferença de 1,64% para o SFA que mantém a mesma altura do sensor industrial que controla o mecanismo automática de manutenção da temperatura do aviário. Conclui-se que há uma diferença entre a temperatura medida na altura dos animais em relação a temperatura medida na altura dos sensores industriais do aviário.
- Luminosidade:** Como os sensores fixos estavam posicionados no centro geométrico de cada partição não houve diferença significativa na detecção de luminosidade entre estes dois, porém, como o robô se movimentou por cada uma partição, percorrendo zonas com maior e menor incidência luminosa, houve diferença significativa entre eles (SMR x SFA e SFB). Para o sensor SFA ocorreu a taxa de variação entre P1 e P2: -0,26% e entre P2 e P3: -1,73%; SFB entre P1 e P2: 0,60% e entre P2 e P3: -0,95%; SMR entre P1 e P2: -3,47% e entre P2 e P3: -1,23%. Os valores da luminosidade na altura do robô estiveram nas três partições acima do limite estabelecido para a quinta semana de produção (10 lux [Cobb, 2019; Ross, 2018]) por isso problemas de intensidade e distribuição da luz no aviário podem afetar diretamente o estímulo no animal para procurar comida e água. Além disso, alterações de

luminosidade podem ocasionar variações na temperatura do ar do aviário fazendo os animais se aglomerarem em regiões com menores índices de luminosidade (FAUSTINO et al., 2021).

- **Amônia:** A amônia é um gás que possui uma baixa densidade em relação ao ar por possuir uma volatilidade maior (BIST, et al., 2023; NASSEM, KING, 2018; KRISTENSEN, WATHES, 2000), portanto era esperado que suas maiores taxas de concentrações fossem detectadas no SFA do que em relação aos sensores SFB e SMR. Isso fica comprovado pela diferença significativa apresentada entre SFA e SFB e SFA e SMR nas três partições. Por conta disso não houve diferença significativa entre SFB e SMR nas três partições. Em todas três partições os níveis de amônia tanto do SMR quanto dos sensores fixos (SFA e SFB) mantiveram-se abaixo do limite máximo tolerado (15ppm) e os níveis a nível do robô (SMR) apresentaram médias menores que a do sensor a 2m da cama (SFA) com as diferenças: P1: SFA/SMR de +1,49ppm; P2: SFA/SMR de +3,84ppm; e P3: SFA/SMR de +4,99ppm. A partição P3 apresentou maior diferença muito provavelmente pois é onde se localizam os dutos exaustores e nas demais partições a diferença positiva muito provavelmente se deu pelas boas condições de ventilação e manejo da cama com menor acúmulo de excrementos e produção do gás amônia (VILELA, 2020).
- **Dióxido de carbono:** O dióxido de carbono é um gás mais denso que o ar e, portanto, era esperado que ele apresentasse concentrações maiores a nível do robô (SMR) (ZHENG, et al., 2020; OLIVEIRA, et al., 2020). De fato, as maiores concentrações foram detectadas a nível dos animais: P1: variação de 35,42% do SMR em relação a SFA; P2: variação de 47,67% do SMR em relação a SFA; P3: variação de 42,33% de SMR em relação a SFA. Contudo todas as taxas permaneceram abaixo do limite máximo tolerado de 3000ppm. Além disso houve diferença significativa entre sensores em todas as partições. Provavelmente isso tenha ocorrido devido ao turbilhonamento do ar por conta da ventilação.
- **Umidade relativa do ar:** A umidade relativa do ar comportou-se de forma diferente nas três partições, porém em todas apresentou diferença significativa entre suas médias. Variações: P1: SMR apresentou médias (73,55%) acima do limite máximo (65%) com taxas de variação de 26% em relação SMR/SFA e de 21,54% em relação SMR/SFB; P2: SMR apresentou médias (67,98%) acima do limite máximo (65%) com taxas de variação de 19,87% em relação SMR/SFA e

de 6,62% em relação SMR/SFB; P3: SMR apresentou médias (58,08%) dentro do limite máximo (65%) com taxas de variação de 17,57% em relação SMR/SFA e de 1,95% em relação SMR/SFB. Compreende-se que na P1 a taxa de umidade seja maior em virtude da presença das placas evaporativas e menor na P3 por conter os dutos exaustores (ZHENG, et al., 2020; OLIVEIRA, et al., 2020) e isso fica comprovado compreendendo taxas maiores de umidade na P1 em relação a P3. Por fim, em todas as três partições a umidade relativa do ar mante-se maior na altura dos animais quando comparado com a altura do sensor fixo.

- **PM10:** A dispersão das partículas de poeira PM10 apresenta-se de forma difusa pelo aviário, apresentando registros variados decorrentes em virtude da circulação do ar e essa circulação é afetada diretamente pela movimentação das massas de ar pelos exaustores (WANG, et al., 2023; WINKEL, et al., 2016). Isso comprova a diferença significativa dos valores capturados entre sensores por partição e entre as próprias partições. Isso fica comprovado devido ao fato de não ter sido encontrado um comportamento parecido da diferença significativa das médias entre partições (na P1 houve diferença significativa apenas entre SFA/SMR; P2: apenas entre SFB/SMR; P3: entre SFA/SMR e SFB/SMR). Importante citar que as maiores taxas de PM10 foram detectadas na P3 o que se relaciona com esta ser a última partição que recebe a circulação do ar. Contudo, todas as taxas de PM10 permaneceram abaixo do limite máximo (3362 micras). Os motivos para isso podem estar relacionados a boa taxa de circulação de ar no aviário e as condições físicas da cama (Winkel, 2016; Aarnink et al., 2009). A nível do animal (SMR) as menores taxas de PM10 foram detectadas na P1 (variação de PM10 de P1 para P2 de 14,89% e de P1 para P3 de 15,48%) sendo que P2 e P3 apresentaram valores próximos (variação de P2 para P3 de 0,51%).
- **Monóxido de Carbono:** O monóxido de carbono possui densidade menor que o ar e possui uma alta dispersão em áreas bem ventiladas. Isso significa que sua presença pode ser muito prejudicial a saúde das aves mesmo em baixas concentrações (OWADA et al., 2007). Contudo, as taxas de monóxido de carbono mantiveram-se baixas nas três partições (abaixo de 16,09ppm). Como o monóxido de carbono é resultante da queima incompleta de materiais orgânicos que contenham carbono Wathes (1999) e não havia nenhuma queimada ou fonte poluição próxima ao aviário eram esperadas taxas baixas desse gás. As taxas coletadas apresentaram diferença significante entre todos os três sensores por

partição e entre partições. Valores mais altos de monóxido de carbono foram encontrados nas três partições no SFA enquanto menores taxas ao nível do animal no SMR com uma taxa de variação de: P1 SMR/SFA: 29,87%; P2 SMR/SFA: 22,48%; e P3 SMR/SFA: 23,27%.

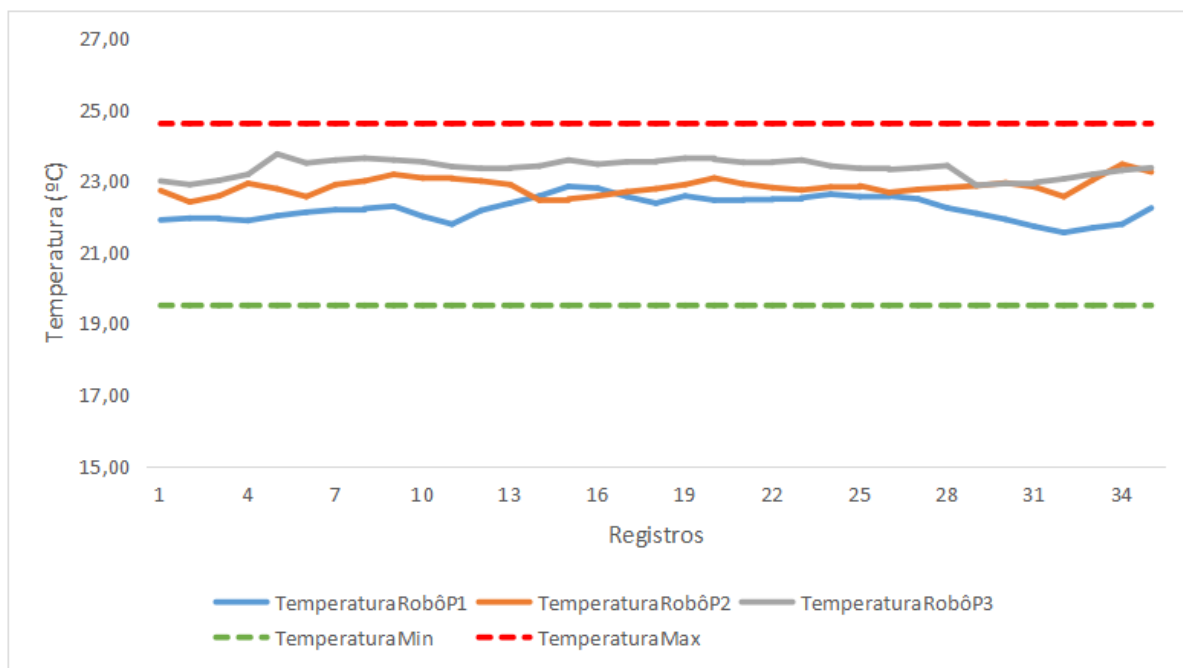
### 8.3.3.2 Entalpia específica do ar

A tabela 3 apresenta os dados resumidos do conforto térmico para Entalpia Específica do Ar nas três partições para o SMR.

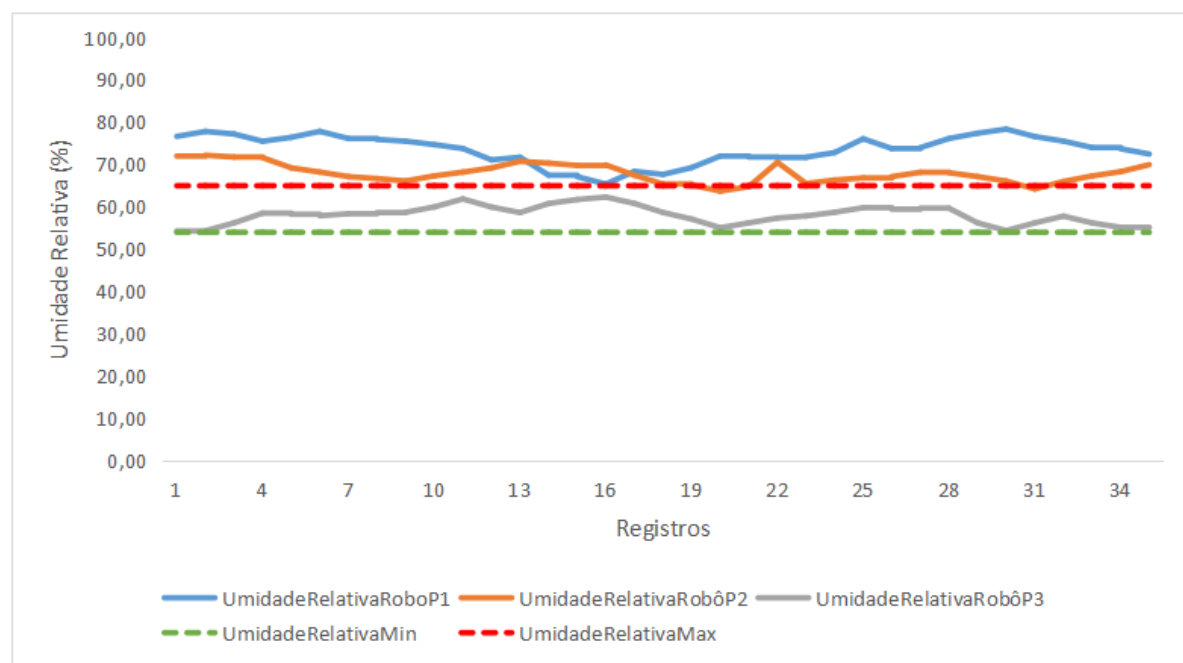
**Tabela 3.** Métricas da análise do conforto térmico nas três partições.

| Partição | Min.  | Máx.  | Média | Desvio<br>padrão | Amplitude | Variância | Situação    |
|----------|-------|-------|-------|------------------|-----------|-----------|-------------|
| P1       | 41,88 | 48,54 | 45,85 | 1,49             | 6,66      | 2,23      | Em conforto |
| P2       | 39,28 | 48,84 | 43,19 | 1,84             | 9,56      | 3,40      | Em conforto |
| P3       | 39,20 | 48,67 | 42,87 | 1,75             | 9,47      | 3,05      | Em conforto |

A entalpia relaciona as variáveis de temperatura do ar e umidade relativa do ar com a pressão atmosférica (padronizada em 995atm [756200 mmhg] pela média das leituras do sensor BME-P 280). Analisando que a temperatura do ar se manteve dentro dos limites de conforto térmico e que a umidade relativa se manteve acima do limite da taxa máxima de umidade relativa na P1 e P2 mas manteve-se dentro dos limites na P3 (Figura 8) era esperado que o resultado da entalpia se aproximasse da zona de conforto térmico dos animais. Conclui-se que o SMR identificou que os animais estiveram em conforto térmico na quinta semana de produção.



A



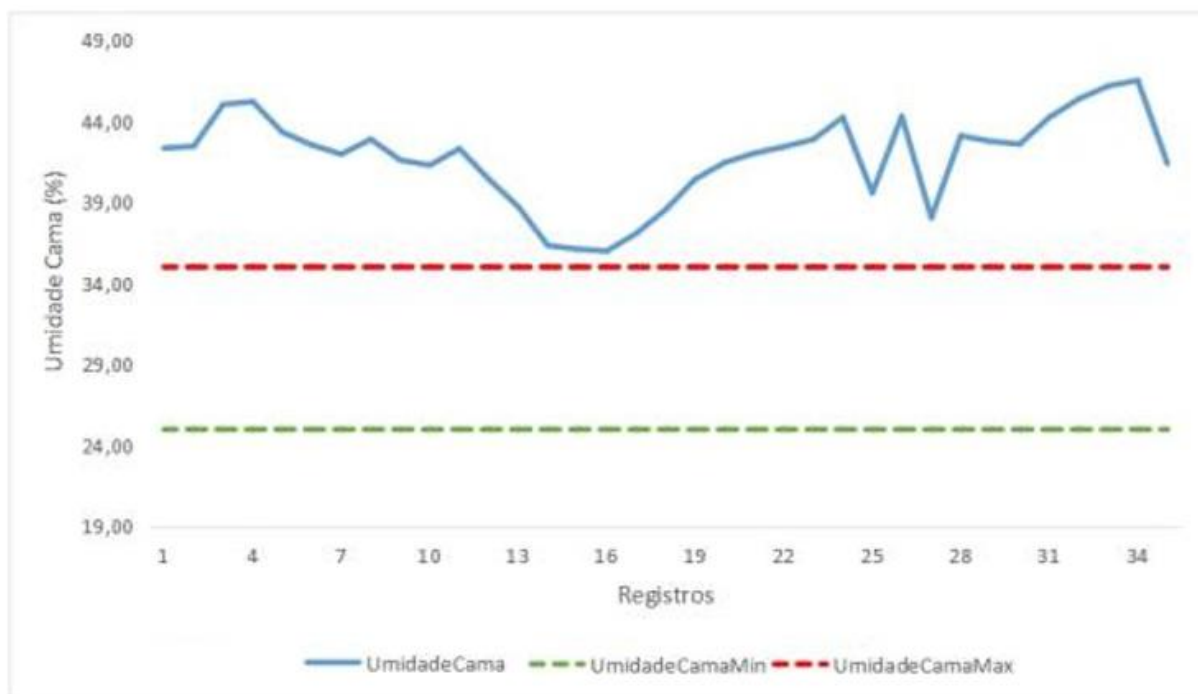
B

**Figura 8.** Variação da temperatura e da umidade a nível dos animais (SMR). A: Temperatura do ar; B: Umidade relativa do ar.

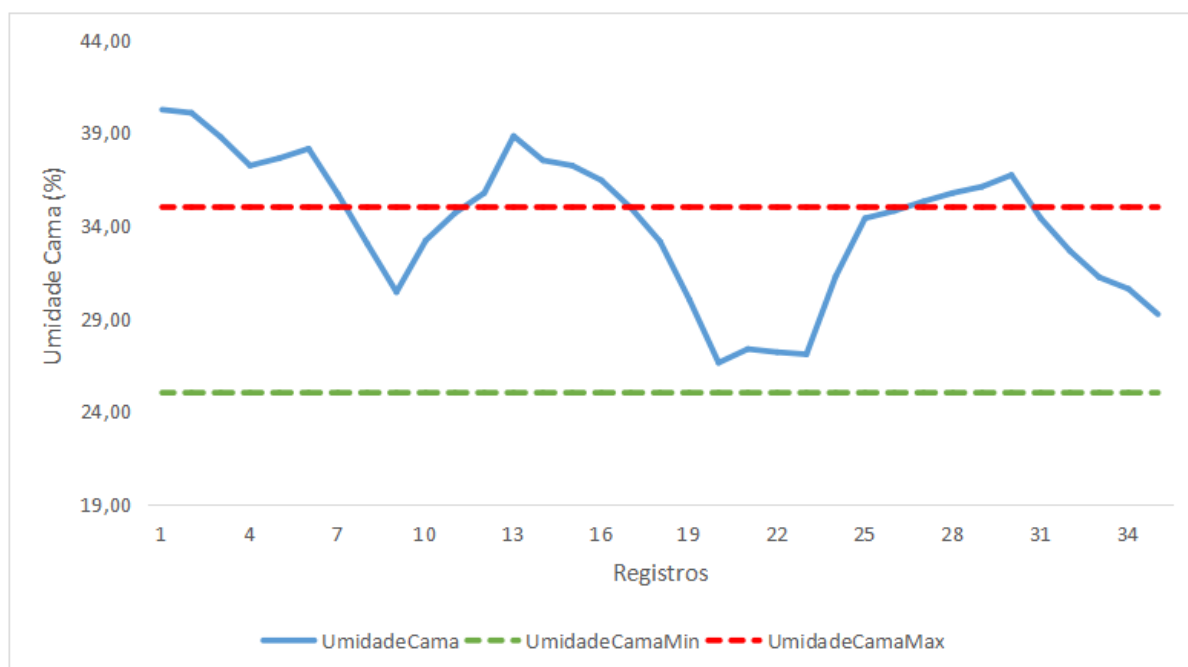
### 8.3.3.3 Umidade da cama

A cama era constituída de casca de amendoim e estava na sua terceira utilização. A Figura 9 apresenta os níveis da umidade da cama mediante o limite

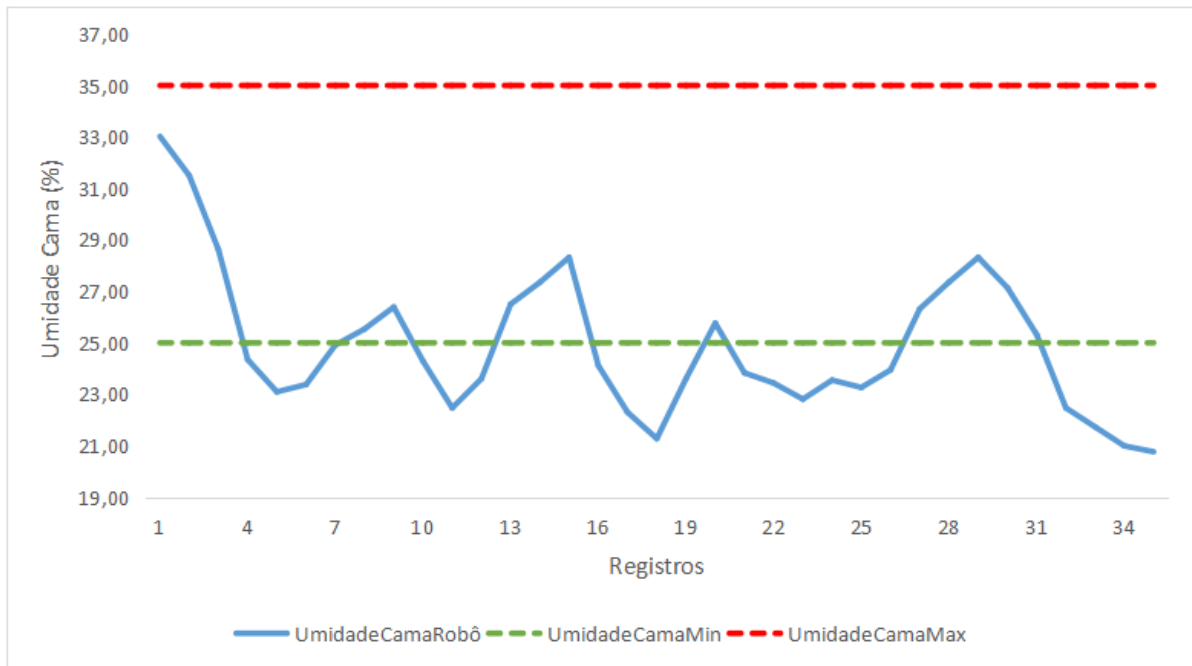
mínimo de 25% e máximo de 35% (Figueira et al., 2015; Araújo, 2013). A tabela 4 apresenta os dados resumidos dos níveis de umidade nas três partições.



A



B



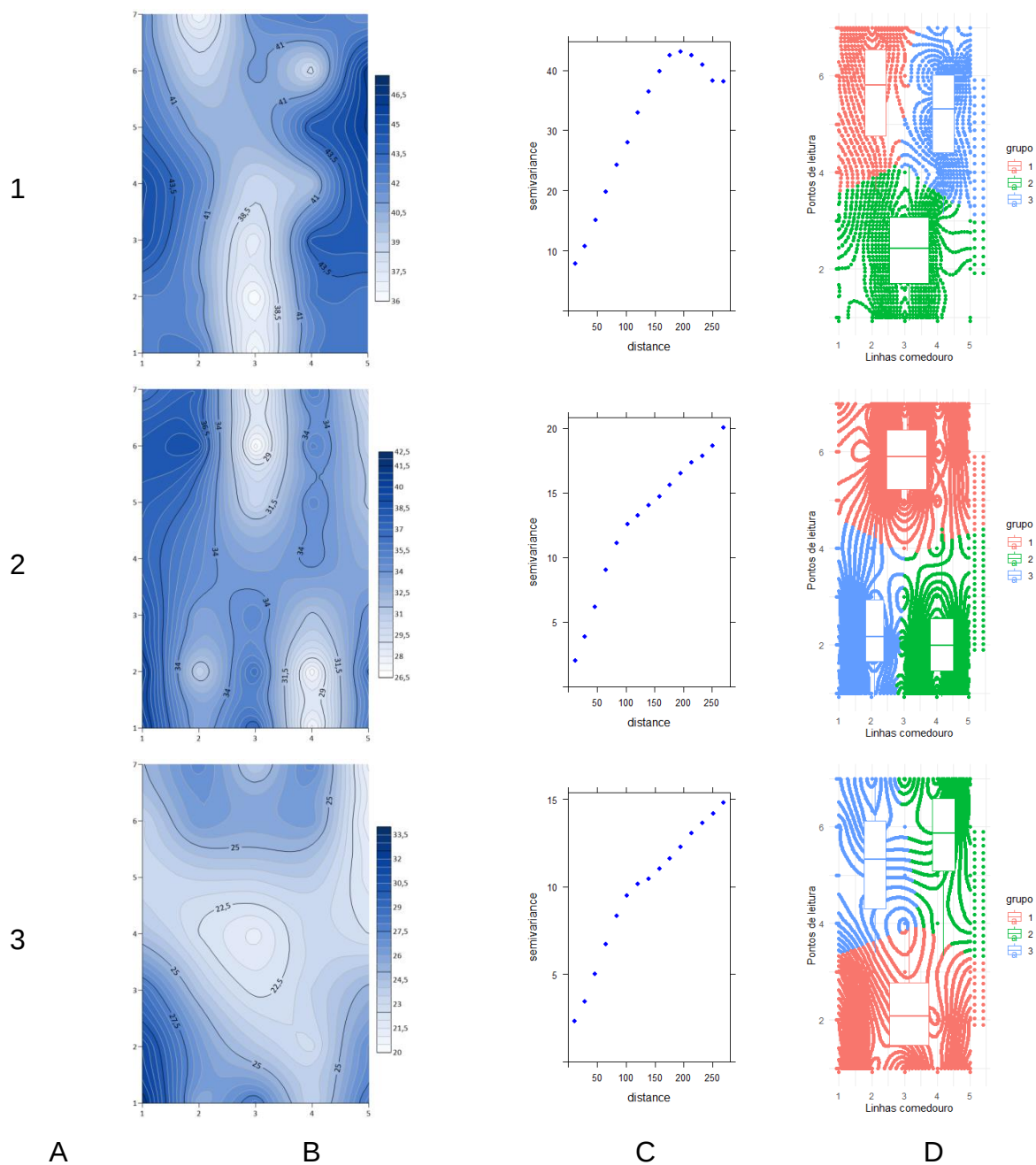
C

**Figura 9.** Níveis da umidade da cama nas três partições. A: partição 1; B: partição 2; C: partição 3.

**Tabela 4.** Métricas da análise do conforto térmico nas três partições.

| Partição / Estatísticas | Mínimo | Máximo | Média | Desvio Padrão | Amplitude | Variância |
|-------------------------|--------|--------|-------|---------------|-----------|-----------|
| 1                       | 35,99  | 46,50  | 41,75 | 2,79          | 4,75      | 7,80      |
| 2                       | 26,62  | 40,25  | 34,11 | 3,80          | 6,14      | 14,47     |
| 3                       | 20,77  | 33,02  | 24,90 | 2,81          | 8,12      | 7,92      |

O mapa krigado, o mapa de variância, o agrupamento dos dados com o algoritmo K-means e as métricas associadas são apresentadas (Figura 10).



**Figura 10.** Distribuição da umidade na cama nas três partições. A: Partição; B: mapa krigado; C: Variograma; D: algoritmo K-means

Por fim, as métricas de análise da distribuição dos dados no mapa Krigado são apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5.** Métricas da análise da umidade da cama coletada pelo robô (Sensor Móvel Robo).

| Partição | Moran |         | Alcance         | Kruskal-Wallis<br>P value |
|----------|-------|---------|-----------------|---------------------------|
|          | MIS   | P value |                 |                           |
| 1        | 0,124 | 0,001   | de 0 até 976,40 | 0,001                     |
| 2        | 0.219 | 0,001   | de 0 até 942,65 | 0,001                     |
| 3        | 0.286 | 0,001   | de 0 até 898,29 | 0,001                     |

MIS: *Moran I statistic*

Vaz (2022), Dittoe et al. (2018), DeLaune et al. (2004) afirmam que teores de umidade de cama acima de 35% favorecem o aumento de produção de amônia. As placas evaporativas que conduzem umidade para o aviário se localizam na partição 1. Autores afirmam (VAZ, 2022; CARVALHO et al., 2011; VIEIRA, 2011; (MIRAGLIOTTA, 2005) a existência de variabilidade das taxas de umidade na cama de frango ao longo do aviário, contudo, suas maiores concentração são próximas as placas evaporativas, locais com vazamentos dos bebedouros, concentrações de excretas dos animais e densidade animal. O Sensor Ambiental Móvel (robô) detectou um maior nível umidade na cama na partição 1 (média 41,75%) e também detectou um maior nível de amônia na primeira partição (5,38ppm) quando comparado com as demais partições (4,42ppm e 3,96ppm). Porém, apesar do nível alto de umidade na cama na partição 1, a temperatura do ar manteve-se menor nesta partição (22,23 °C) quando comparado com as demais partições (22,84 °C e 23,36 °C). Isso pode determinar que mesmo com um nível alto de amônia pode ser que o nível de proliferação microbiana tenha sido reduzido tendo em vista que McWard, Taylor (2000) afirmam a existência da correlação entre estes fatores e também Correia et al., (2000) afirmam que o equilíbrio dinâmico dos micro-organismos depende da sua capacidade e adaptação ao meio (VIEIRA, 2011) quando se relaciona umidade e temperatura.

#### 8.4. Conclusões

O RobôFrango conseguiu se deslocar pelo aviário em suas três partições e coletou todas as variáveis ambientais de interesse pelo sistema produtivo de frangos de corte por meio do Sensor Ambiental Móvel. Estas variáveis foram comparadas com os dados coletados dos outros dois sensores (Sensor Ambiental

Alto e Sensor Ambiental Baixo). Todas as semelhanças e diferenças significativas foram devidamente analisadas entre sensores por partição e entre partições.

### **Agradecimentos**

A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), por meio do projeto número 2022/0744-2, pelo financiamento do projeto para compra de todos os equipamentos utilizados nesta pesquisa.

### **Referências**

AARNINK, A.J.A.; LE, P.D.; JONGBLOED, A.W.. Odour and ammonia emission from pig manure as affected by dietary crude protein level. *Livestock Science*, [S.L.], v. 121, n. 2-3, p. 267-274, abr. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2008.06.021>.

ABNT 6457. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Amostras de solo. São Paulo, 9 jan. 2024. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/pnm.aspx?Q=U0NuRDVXMXNWd0hMTGh6UFcvQkRZUzMxaGo0d1FaWXBwV1E4bmJEZIZORT0=>. Acesso em: 22 abr. 2024.

ABREU, V.M.N, De Abreu PG (2011) Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves o Brasil. *Revista Brasileira de Zootecnia* 40:1-14.

ALVES, Gabriel. Detecção de Objetos com YOLO – Uma abordagem moderna. 2020. Disponível em: <https://iaexpert.academy/2020/10/13/deteccao-de-objetos-com-yolo-uma-abordagem-moderna/>. Acesso em: 18 abr. 2024.

ANDERSON, David R.; SWEENEY, Dennis J.; COCHRAN, James J.; CAMM, Jeffrey D.; WILLIAMS, Thomas A.. Estatística aplicada a administração e economia. 4. ed. São Paulo,: Cengage Learning, 2018. 600 p.

ARAÚJO, Fernando Godinho de. Bem-estar e ambiência de aves. Rede E-Tec Brasil. Urutaí / Go, p. 1-1. jan. 2013.

BACH, Monica H.; TAHAMTANI, Fernanda M.; PEDERSEN, Ida J.; RIBER, Anja B.. Effects of environmental complexity on behaviour in fast-growing broiler chickens. *Applied Animal Behaviour Science*, [S.L.], v. 219, p. 104840, out. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applanim.2019.104840>.

BIST, Ramesh Bahadur; SUBEDI, Sachin; CHAI, Lilong; YANG, Xiao. Ammonia emissions, impacts, and mitigation strategies for poultry production: a critical review. *Journal Of Environmental Management*, [S.L.], v. 328, p. 116919, fev. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116919>.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Regras para análise da qualidade e produtividade. Brasília: MDA, 1992. 180p.

CAMPOS, Joana Filipa da Rocha. Avaliação do bem-estar animal em frangos de engorda em regime intensivo. 2015. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Medicina Veterinária, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2015.

CARDOSO, Mateus C. Duarte; BALTHAZAR, Glauber R.; SILVA, Iran José Oliveira da; SIQUEIRA, Thiago Luís Lopes. Technical feasibility study and prototyping of an embedded computer vision system for commercial poultry farming. In: 31th International Symposium on Scientific and Technological Initiation at USP (SIICUSP), 2023, São Carlos, SP. Proceedings of SIICUSP, 2023. 2p.

CARVALHO, Thayla Morandi Ridolfi de; MOURA, Daniella Jorge de; SOUZA, Zigomar Menezes de; SOUZA, Gustavo Soares de; BUENO, Leda Gobbo de Freitas. Qualidade da cama e do ar em diferentes condições de alojamento de frangos de corte. Pesquisa Agropecuária Brasileira, [S.L.], v. 46, n. 4, p. 351-361, abr. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2011000400003>.

CHEN, Changxi; YU, Xinwei Yu Xinwei; YU, Liji Yu Liji; XUE, Shanshan Xue Shanshan. Design of the Mechanical Part of the Autonomous Inspection Robot for Broiler Cage Raising Mode. SSRN Elservier, v. 1, n. 1, p. 12-24, 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4457376>.

CHENG, Chao; FU, Jun; SU, Hang; REN, Luquan. Recent Advancements in Agriculture Robots: benefits and challenges. Machines, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 48, 1 jan. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/machines11010048>.

COBB. Manual de manejo de frangos de corte. 2019. Cobb-vantress. Disponível em: <<https://wp.ufpel.edu.br/avicultura/files/2012/04/Cobb-Manual-Frango-Corte-BR.pdf>>. Acesso em: <10/04/2024>.

DE JONG, I., Van Harn, J., Gunnink, H., Hindle, V. & Lourens, A. (2012). Footpad dermatitis in dutch broiler flocks: prevalence and factors of influence. Poultry Science , 91, 1569-1574

DeLaune, P. B., Moore Jr., P. A, Daniel, T. C., Lemunyon, J. L. (2004). Effect of chemical and microbial amendments on ammonia volatilization from composting poultry litter. J. Environ. Qual. 33, 728–734.

DITTOE, D. K., McDaniel, C. D., Tabler, T., Kiess, A. S. (2018). Windrowing poultry litter after a broiler house has been sprinkled with water. J. Appl. Poult. Res. 27, 1-15. EURACHEM, CITAC, Quantifying uncertainty in analytical measurement, Guide CG4, 3rd ed., Eurachem, 2012. Disponível em: <[https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/QUAM2012\\_P1.pdf](https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/QUAM2012_P1.pdf)>. Acesso em: 03/06/2022.

FAUSTINO AC, Turco SHN, Silva Junior RGC, Miranda IB, Anjos IE, Lourençoni D (2021) Spatial variability of enthalpy and illuminance in free-range broiler sheds TT. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 25(5): 340–344.

FAVERO, Luiz Paulo; BELFIORE, Patrícia. Manual de Análise de Dados - Estatística e Modelagem Multivariada com Excel®, SPSS® e Stata®. Rio de Janeiro: Gen Ltc, 2017. 1216 p.

FEI, Jie Deng; HAO, Wang; JUN, Wang; WEI, Xuan. Real-Time Recognition Study of Egg-Collecting Robot in Free-Range Duck Sheds. SSRN Elsevier, v. 1, n. 1, p. 37-49, 22 mar. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4396479>.

FENG, Qing Chun; WANG, Xiu. Design of Disinfection Robot for Livestock Breeding. Procedia Computer Science, [S.L.], v. 166, p. 310-314, 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2020.02.093>

FIGUEIRA, Samantha Verdi; NASCIMENTO, Gisele Mendanha; MOTA, Bárbara de Paiva; LEONÍDIO, Angélica Ribeiro Araújo; ANDRADE, Maria Auxiliadora. Bem-estar animal aplicado a frangos de corte. Enciclopédia Bioesfera: Centro Científico Saber. Goiânia, p. 100-121. jul. 2014.

FIGUEIRA, Samantha Verdi; NASCIMENTO, Gisele Mendanha; MOTA, Bárbara de Paiva; LEONÍDIO, Angélica Ribeiro Araújo; ANDRADE, Maria Auxiliadora. Bem-estar animal aplicado a frangos de corte. Enciclopédia Bioesfera: Centro Científico Saber. Goiânia, p. 100-121. jul. 2015.

FREITAS, Sônia Maria de. Metodologia Estatística para Validação de Métodos Analíticos Aplicável à Metrologia em Química. 2003. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Metrologia Para Qualidade Industrial., Puc-Rio, Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: [https://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0116460\\_03\\_cap\\_03.pdf](https://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0116460_03_cap_03.pdf). Acesso em: 03 jun. 2022.

GUNDIM, Lígia Fernandes; RODRIGUES, Evelyn Assad; BLANCA, William Torres; COLETO, Arlinda Flores; MEDEIROS, Alessandra Aparecida. Causas de condenações de frangos de corte relacionados a manejo e ambiência. Enciclopédia Bioesfera: Centro Científico Saber. Goiânia, p. 100-108. jun. 2015.

HFAC (HUMANE FARM ANIMAL CARE). Humane Farm Animal Care Animal Care Standards – CHICKENS, 2009. Disponível em: <<http://certifiedhumane.org/wp-content/uploads/pdfs/Std09.Chickens.2J.pdf>>. Acesso em: 15 de março de 2024.

JOSHER, Glenn; CHAURASIA, Ayush; QIU, Jing. Ultralytics YOLOv8. 2023. Disponível em: <https://github.com/ultralytics/ultralytics>. Acesso em: 17 abr. 2024.

KIC, Pavel. Microclimatic conditions in the poultry houses. Agronomy Research, Estonia, v. 1, n. 14, p. 82-90, jan. 2016. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/303787368\\_Microclimatic\\_conditions\\_in\\_the\\_poultry\\_houses](https://www.researchgate.net/publication/303787368_Microclimatic_conditions_in_the_poultry_houses). Acesso em: 23 abr. 2024.

KIM, Na Yeon; KIM, Seong Jin; OH, Mirae; JANG, Se Young; MOON, Sang Ho. Changes in facial surface temperature of laying hens under different thermal conditions. Animal Bioscience, [S.L.], v. 34, n. 7, p. 1235-1242, 1 jul. 2021. Asian Australasian Association of Animal Production Societies. <http://dx.doi.org/10.5713/ab.20.0647>.

KRISTENSEN, H.H.; WATHES, C.M.. Ammonia and poultry welfare: a review. World'S Poultry Science Journal, [S.L.], v. 56, n. 3, p. 235-245, 1 set. 2000. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1079/wps20000018>.

LAVICOLE ROBOT, 2020. Self-propelled and radio-controlled cleaning machine designed for poultry houses, chicken coops. Disponível em <<https://www.rabaud.com/en/products/poultry-cleaning-machine/poultry-houses-cleaning-machine-lavicole.html>>. Acesso em <23/01/2023>.

LI, Guoming; GATES, Richard S.; MEYER, Meaghan M.; BOBECK, Elizabeth A.. Tracking and Characterizing Spatiotemporal and Three-Dimensional Locomotive Behaviors of Individual Broilers in the Three-Point Gait-Scoring System. *Animals*, [S.L.], v. 13, n. 4, p. 717, 17 fev. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ani13040717>.

LIN, Rongfeng; FAN, Jianan; SUN, Zhijin; YAN, Yonghuan; ZHAN, Xianghui. Design of integrated robot for risk waste transfer and disinfection. *Journal Of Physics: Conference Series*, [S.L.], v. 2587, n. 1, p. 012054, 1 set. 2023. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/2587/1/012054>.

MASCARENHAS, Nágela Maria Henrique; COSTA, Antonio Nelson Lima da; PEREIRA, Maria Leidiane Lima; CALDAS, Ana Carolina Alves de; BATISTA, Luanna Figueirêdo; GONÇALVES, Evyla Layssa. Thermal conditioning in the broiler production: challenges and possibilities. *Journal Of Animal Behaviour And Biometeorology*, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 52-55, 2018. JABB - Journal of Animal Behaviour and Biometeorology. <http://dx.doi.org/10.31893/2318-1265jabb.v6n2p52-55>.

MIRAGLIOTTA, Miwa Yamamoto. AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DO AMBIENTE INTERNO EM DOIS GALPÕES DE PRODUÇÃO COMERCIAL DE FRANGOS DE CORTE, COM VENTILAÇÃO E DENSIDADE POPULACIONAL DIFERENCIADOS. 2005. 258 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

NASEEM, Sadia; KING, Annie J.. Ammonia production in poultry houses can affect health of humans, birds, and the environment—techniques for its reduction during poultry production. *Environmental Science And Pollution Research*, [S.L.], v. 25, n. 16, p. 15269-15293, 28 abr. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-018-2018-y>.

OLIVEIRA, Jofran L.; RAMIREZ, Brett C.; XIN, Hongwei; WANG, Yu; HOFF, Steven J.. Ventilation performance and bioenergetics of dekalb white hens in a modern aviary system. *Biosystems Engineering*, [S.L.], v. 199, p. 149-161, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.03.014>.

OWADA, A. N.; NAAS, I. de A.; MOURA, D. J. de; BARACHO, M. dos S. Estimativa de bem-estar de frango de corte em função da concentração de amônia e grau de luminosidade no galpão de produção. *Engenharia Agrícola*, v.27, n.3, p.611- 618, 2007.

PEREIRA, Wariston Fernando; FONSECA, Leonardo da Silva; PUTTI, Fernando Ferrari; GÓES, Bruno César; NAVES, Luciana de Paula. Environmental monitoring in a poultry farm using an instrument developed with the internet of things concept. *Computers And Electronics In Agriculture*, [S.L.], v. 170, p. 105257, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2020.105257>.

POULTRY PATROL, 2019. Revolutionizing poultry production with autonomous robots. Disponível em < [https://poultrypatrol.com/?page\\_id=472](https://poultrypatrol.com/?page_id=472)>. Acessado em <20/01/2023>.

REN, Guoqiang; LIN, Tao; YING, Yibin; CHOWDHARY, Girish; TING, K.C.. Agricultural robotics research applicable to poultry production: a review. *Computers And Electronics In Agriculture*, [S.L.], v. 169, p. 105216, fev. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2020.105216>.

RODRIGUES, VC, Silva IJO, Vieira FMC, Nascimento STA (2011) Correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. *International Journal of Biometeorology* 55:455-459.

ROSS. Manual de manejo de frangos de corte. 2018. Ross Aviagen. Disponível em: <[https://pt.aviagen.com/assets/Tech\\_Center/BB\\_Foreign\\_Language\\_Docs/Portuguese/Ross-BroilerHandbook2018-PT.pdf](https://pt.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Portuguese/Ross-BroilerHandbook2018-PT.pdf)>. Acesso em: <10/04/2024>.

SAJID, Haziqa. Descompactando Yolov8: obra-prima viral da visão computacional da Ultralytics. 2024. Disponível em: <https://www.unite.ai/pt/ultral%C3%ADticos-yolov8/>. Acesso em: 18 abr. 2024.

SARMENTO LGV, Dantas RT, Furtado DA, Do Nascimento JWB, Da Silva JHV (2005) Efeito da pintura externa do telhado sobre o ambiente climático e o desempenho de frangos de corte. *Revista Agropecuária Técnica* 26:117-122.

SCHIASI, Leonardo. Desempenho e comportamento de frangos de corte em túneis de vento climatizados. 2013. 79 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós- Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

SCHIASI, Leonardo; YANAGI JUNIOR, Tadayuki; FERRAZ, Patrícia F. P.; CAMPOS, Alessandro T.; SILVA, Guilherme R. e; ABREU, Lucas H. P.. Comportamento de frangos de corte submetidos a diferentes ambientes térmicos. *Journal Of The Brazilian Association Of Agricultural Engineering: Revista Engenharia Agrícola*. Jaboticabal, p. 390-396. jun. 2015.

SILVA, Allan Bastos da; SIQUEIRA, Thiago L. L.. Design, implementation and evaluation of an information system for the management of digital farming scientific data. 2024. Submetido para avaliação.

SLAMTEC. Triangulation LIDAR - Basic Model RPLIDAR A1. Disponível em: <https://www.slamtec.ai/product/slamtec-rplidar-a1/>. Acessado em: 17 abr. 2024.

SOHSUEBNGARM, Damnern; KONGPECHR, Saijai; SUKON, Peerapol. Microclimate, Body Weight Uniformity, Body Temperature, and Footpad Dermatitis in Broiler Chickens Reared in Commercial Poultry Houses in Hot and Humid Tropical Climates. *Journal of World'S Poultry Research*, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 241-248, 25 dez. 2019. *Journal of World's Poultry Research*. <http://dx.doi.org/10.36380/scil.2019.wvj30>.

SPIESS, Fabian; RECKELS, Bernd; WAHAB, Amr Abd-El; AHMED, Marwa Fawzy Elmetwaly; SÜRIE, Christian; AUERBACH, Monika; RAUTENSCHLEIN, Silke; DISTL, Ottmar; HARTUNG, Joerg; VISSCHER, Christian. The Influence of Different Types of Environmental Enrichment on the Performance and Welfare of Broiler Chickens and the Possibilities of Real-Time Monitoring via a Farmer-Assistant System. *Sustainability*, [S.L.], v. 14, n. 9, p. 5727, 9 maio 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su14095727>.

SPOUTINIC NAV, 2016. Invented by breeders, developed for their needs, rewarded by their results. Disponível em <<https://www.tibot.fr/en/solutions/poultry-robot-spoutnicnav/>>. Acessado em <23/01/2023>.

UTAMA, Cahya Setya; CHRISTIYANTO, Marry. Chemical and microbiological properties of broiler litter kept at different altitudes. *Online Journal Of Animal And Feed Research*, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 88-94, 29 maio 2021. *Online Journal of Animal and Feed Research*. <http://dx.doi.org/10.51227/ojafr.2021.15>.

VAZ, Clarissa Silveira Luiz. Manejo da cama de frango. In: CONFERÊNCIA FACTA WPSA-BRASIL, 1., 2022, Campinas. Anais: avicultura o futuro é agora.. Campinas: Facta, 2022. p. 3-14. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1143623/1/final9917.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2024.

VIEIRA, Maria de Fátima Araújo. Caracterização e análise da qualidade sanitária de camas de frango de diferentes materiais reutilizados sequencialmente. 2011. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/3600/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2024.

VILELA, M. O.; GATES, R. S.; SOUZA, C. F.; MARTINS, M. A.; TINÔCO, I. F. F.; TELES JÚNIOR, C. G. S.. SISTEMAS DE VENTILAÇÃO NA AVICULTURA BRASILEIRA: estado da arte. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, [S.L.], v. 14, n. 2, p. 152-171, 30 jun. 2020. Universidade Estadual Paulista - Campus de Tupa. <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2020v14n2p152-171>.

VROEGINDEWEIJ, Bastiaan A.; BLAAUW, Sam K.; IJSSELMUIDEN, Joris M.M.; VAN HENTEN, Eldert J.. Evaluation of the performance of PoultryBot, an autonomous mobile robotic platform for poultry houses. *Biosystems Engineering*, [S.L.], v. 174, p. 295-315, out. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.07.015>.

WANG, Kai; SHEN, Dan; DAI, Pengyuan; LI, Chunmei. Particulate matter in poultry house on poultry respiratory disease: a systematic review. *Poultry Science*, [S.L.], v. 102, n. 4, p. 102556, abr. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psj.2023.102556>.

WATHES, C. M. Strive for clean air in your poultry house. *World Poultry*, v.15, n.3, p.17-19, 1999.

WINKEL, Albert; MOSQUERA, Julio; KOERKAMP, Peter W.G. Groot; OGINK, Nico W.M.; AARNINK, André J.A.. Emissions of particulate matter from animal houses in the Netherlands. *Atmospheric Environment*, [S.L.], v. 111, p. 202-212, jun. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.03.047>.

YAMAMOTO, Jorge Kazuo. *Estatística, Análise e Interpolação de Dados Geoespaciais: 50 Scripts em R*. São Paulo: Oficina de Textos, 2020. 308 p.

YAMAMOTO, Jorge Kazuo; LANDIM, Paulo M. Barbosa. *Geoestatística: Conceitos e Aplicações*. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 215 p.

YANG, X.; ZHAO, Y.; STREET, G.M.; HUANG, Y.; TO, S.D. Filip; PURSWELL, J.L.. Classification of broiler behaviours using triaxial accelerometer and machine learning. *Animal*, [S.L.], v. 15, n. 7, p. 100269, jul. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.animal.2021.100269>.

ZHENG, W.; XIONG, Y.; GATES, R.s.; WANG, Y.; KOELKEBECK, K.W.. Air temperature, carbon dioxide, and ammonia assessment inside a commercial cage layer barn with manure-drying tunnels. *Poultry Science*, [S.L.], v. 99, n. 8, p. 3885-3896, ago. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psj.2020.05.009>.

## 9 CONCLUSÕES

A hipótese da construção de um elemento robótico para agir como um agente biosensor foi atingida. Um conjunto de sensores foram dimensionados em um módulo de análise ambiental que foi acoplado a uma estrutura robótica móvel denominada RobôFrango. O RobôFrango percorreu um aviário comercial respeitando a distância de fuga necessária para não causar pânico nos animais, obteve os dados do micro clima (incluindo dados da umidade da cama do aviário) no qual estava inserido e enviou estes dados para um sistema remoto que possibilitou o armazenamento e transformação dos dados em informações úteis. A partir dessas informações análises, mapeamentos e inferências estatísticas apresentaram o grau de significância do micro clima na altura dos animais em relação a altura dos sensores industriais existente no aviário comercial. Por fim, o RobôFrango se apresenta como uma proposta de MVP para análise ambiental comportando-se como um agente biosensor.



## REFERÊNCIAS

SILVEIRA, Franco da; LERMEN, Fernando Henrique; AMARAL, Fernando Gonçalves. An overview of agriculture 4.0 development: systematic review of descriptions, technologies, barriers, advantages, and disadvantages. *Computers And Electronics In Agriculture*, [S.L.], v. 189, p. 106405, out. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2021.106405>.

SILVEIRA, Franco da; BARBEDO, Jayme Garcia Arnal; SILVA, Sabrina Letícia Couto da; AMARAL, Fernando Gonçalves. Proposal for a framework to manage the barriers that hinder the development of agriculture 4.0 in the agricultural production chain. *Computers And Electronics In Agriculture*, [S.L.], v. 214, p. 108281, nov. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2023.108281>.

LENG, Jiewu; ZHU, Xiaofeng; HUANG, Zhiqiang; LI, Xingyu; ZHENG, Pai; ZHOU, Xueliang; MOURTZIS, Dimitris; WANG, Baicun; QI, Qinglin; SHAO, Haidong. Unlocking the power of industrial artificial intelligence towards Industry 5.0: insights, pathways, and challenges. *Journal Of Manufacturing Systems*, [S.L.], v. 73, p. 349-363, abr. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmsy.2024.02.010>.

NIE, Lili; LI, Bugao; DU, Yihan; JIAO, Fan; SONG, Xinyue; LIU, Zhenyu. Deep learning strategies with CReToNeXt-YOLOv5 for advanced pig face emotion detection. *Scientific Reports*, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 21-40, 19 jan. 2024. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-024-51755-8>.

NASIRI, Amin; AMIRIVOJDAN, Ahmad; ZHAO, Yang; GAN, Hao. An automated video action recognition-based system for drinking time estimation of individual broilers. *Smart Agricultural Technology*, [S.L.], v. 7, p. 100409, mar. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atech.2024.100409>.

LI, Lihua; WANG, Ziqi; HOU, Wang; ZHOU, Zixuan; XUE, Hao. A Recognition Method for Aggressive Chicken Behavior Based on Machine Learning. *Ieee Access*, [S.L.], v. 12, p. 24762-24775, 2024. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/access.2024.3365552>.

EREKALO, Kassa Tarekegn; PEDERSEN, Søren Marcus; CHRISTENSEN, Tove; DENVER, Sigrid; GEMTOU, Marilena; FOUNTAS, Spyros; ISAKHANYAN, Gohar. Review on the contribution of farming practices and technologies towards climate-smart agricultural outcomes in a European context. *Smart Agricultural Technology*, [S.L.], v. 7, p. 100413, mar. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atech.2024.100413>.

BAO, Pengxiao; SHI, Liwei; DUAN, Lijie; GUO, Shuxiang; LI, Zhengyu. A Review: from aquatic lives locomotion to bio-inspired robot mechanical designations. *Journal Of Bionic Engineering*, [S.L.], v. 20, n. 6, p. 2487-2511, 21 ago. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s42235-023-00421-2>.

ZHANG, Yujing; WU, Xiaobo; VADLAMANI, Ram Anand; LIM, Youngmin; KIM, Jongwoon; DAVID, Kailee; GILBERT, Earl; LI, You; WANG, Ruixuan; JIANG, Shan. Submillimeter Multifunctional Ferromagnetic Fiber Robots for Navigation, Sensing,

and Modulation. *Advanced Healthcare Materials*, [S.L.], v. 12, n. 28, p. 226-237, 27 jul. 2023. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/adhm.202300964>.

LAZIC, Dajana; SCHMICKL, Thomas. Will biomimetic robots be able to change a hivemind to guide honeybees' ecosystem services? *Bioinspiration & Biomimetics*, [S.L.], v. 18, n. 3, p. 035004, 27 mar. 2023. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-3190/acc0b9>.

ROMANO, Donato; PORFIRI, Maurizio; ZAHADAT, Payam; SCHMICKL, Thomas. Animal–robot interaction—an emerging field at the intersection of biology and robotics. *Bioinspiration & Biomimetics*, [S.L.], v. 19, n. 2, p. 020201, 2 fev. 2024. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-3190/ad2086>.

BOEHM, Barry; LANE, Jo Ann; KOOLMANOJWONG, Supannika; TURNER, Richard N.. *Incremental Commitment Spiral Model, The: Principles and Practices for Successful Systems and Software*. Boston, Usa: Addison-Wesley Professional, 2014. 525 p.

## ANEXOS

### Anexo A – Código de tratamento dos dados da revisão bibliométrica

```
#####
#### Código de tratamento dos dados da revisão bibliométrica ####
#### Fonte: Clayton Martins Pereira #####
#### Site: https://www.youtube.com/watch?v=2XKsq_y9z_M #####
#####

#importacao da biblioteca Biblio Metrix
library(bibliometrix)

#obter os dados das duas bases (Scopus e Web of Science)
S <- convert2df("G:/Arquivos/academico/2024-1/ESALQ/Tese/RevisaoBibliografica/texto/resultados/2014-2024_2/scopus.csv", dbsource = "scopus", format = "csv")
W <- convert2df("G:/Arquivos/academico/2024-1/ESALQ/Tese/RevisaoBibliografica/texto/resultados/2014-2024_2/savedrecs.txt", dbsource = "wos", format = "plaintext")

#realizar o merge removendo duplicadas
U <- mergeDbSources(S, W, remove.duplicated = TRUE)

#apresentar a tabela
write.table(U, "G:/Arquivos/academico/2024-1/ESALQ/Tese/RevisaoBibliografica/texto/resultados/2014-2024_2/dadosbiblio.csv", sep = ";", row.names = FALSE)

#realizar análises e plotar gráficos
Res <- biblioAnalysis(U)
DS <- summary(object = Res, k = 20)
plot(Res, k=20)
```

## Anexo B - Código da movimentação do robô na pista de teste

```

/**
 * Código da movimentação do protótipo robótico para execução na pista de teste
 * Autoria: Glauber da Rocha Balthazar
 ***/

//importacao das bibliotecas
#include <Arduino.h>
#include <avr/sleep.h>

//configuracao da motorização na ponte H
#define ENB 48
#define MOTORB_1 52
#define MOTORB_2 51
#define MOTORA_1 50
#define MOTORA_2 49
#define ENA 53
//constantes da velocidade e tempo de execução
#define SPEED 1000
#define TIME 360000

//configurações de setup
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(ENA, OUTPUT);
  pinMode(MOTORA_1, OUTPUT);
  pinMode(MOTORA_2, OUTPUT);
  pinMode(ENB, OUTPUT);
  pinMode(MOTORB_1, OUTPUT);
  pinMode(MOTORB_2, OUTPUT);
}

//execução do programa
void loop() {
  //caminha pra frente na velocidade máxima e no tempo de 6 minutos
  forward(SPEED, TIME);
  //para a movimentacao
  stop();
  //ativa o modo de hibernação
  set_sleep_mode(SLEEP_MODE_PWR_DOWN);
  sleep_mode();
}

//função para fazer o robô andar pra frente
void forward(int velocity_execution, int time_execution) {
  analogWrite(ENB, velocity_execution);
  analogWrite(ENA, velocity_execution);
  digitalWrite(MOTORA_1, HIGH);
  digitalWrite(MOTORA_2, LOW);
  digitalWrite(MOTORB_1, LOW);
  digitalWrite(MOTORB_2, HIGH);
  delay(time_execution);
}

//função para fazer o robô parar de andar
void stop() {
  analogWrite(ENB, 0);
  analogWrite(ENA, 0);
  digitalWrite(MOTORA_1, LOW);
  digitalWrite(MOTORA_2, LOW);
  digitalWrite(MOTORB_1, LOW);
  digitalWrite(MOTORB_2, LOW);
}

```

## Anexo C - Código fonte do 6o Protótipo (LiDAR)

```
#####
##### Código fonte do 6o Protótipo #####
##### Autor: Glauber da Rocha Balthazar ###
#####

#importacoes dos pacotes necessários para execução do robô
import RPi.GPIO as GPIO
from time import sleep
import cv2
import numpy as np
import sys
import os
from threading import Thread
from rplidar import RPLidar, RPLidarException
import matplotlib.pyplot as plt
import statistics
import math

#--PARAMETROS GLOBAIS--
#motorizacao
in1 = 35 #vermelho24
in2 = 36 #laranja23
enA = 33 #marrom25
in3 = 37 #amarelo22
in4 = 38 #verde27
enB = 32 #azul17
#camera
cap=cv2.VideoCapture(0)
#motor_atuador
in1_atuador = 7 #verde
in2_atuador = 11 #branco

#-----SETUP-----
GPIO.setwarnings(False)
GPIO.setmode(GPIO.BOARD)

#-----MOTORIZACAO-----
#motores
GPIO.setup(enA,GPIO.OUT)
GPIO.setup(in1,GPIO.OUT)
GPIO.setup(in2,GPIO.OUT)
GPIO.setup(in3,GPIO.OUT)
GPIO.setup(in4,GPIO.OUT)
GPIO.setup(enB,GPIO.OUT)
GPIO.output(in1,GPIO.LOW)
GPIO.output(in2,GPIO.LOW)
GPIO.output(in3,GPIO.LOW)
GPIO.output(in4,GPIO.LOW)
GPIO.output(enA,GPIO.HIGH)
GPIO.output(enB,GPIO.HIGH)
#atuador
GPIO.setup(in1_atuador,GPIO.OUT)
GPIO.setup(in2_atuador,GPIO.OUT)
GPIO.output(in1_atuador,GPIO.LOW)
GPIO.output(in2_atuador,GPIO.LOW)

#-----LIDAR-----
PORT_NAME = '/dev/ttyUSB0'
file1 = open("distancias.txt", "w")
texto = "MF;MT;MD;ME;S\n"
file1.write(texto)
file1.close()

#-----FUNCOES-----
```

```

def motor_atuador(atuacao):
    if(atuacao == True):
        print("descendo atuador...")
        GPIO.output(in1_atuador,GPIO.LOW)
        GPIO.output(in2_atuador,GPIO.HIGH)
    else:
        print("subindo atuador...")
        GPIO.output(in1_atuador,GPIO.HIGH)
        GPIO.output(in2_atuador,GPIO.LOW)
#-----
def stop():
    print("stop")
    GPIO.output(in1,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in2,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in3,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in4,GPIO.LOW)
#-----
def toForward():
    print("forward")
    GPIO.output(in1,GPIO.HIGH)
    GPIO.output(in2,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in3,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in4,GPIO.HIGH)
#-----
def toBackward():
    print("backward")
    GPIO.output(in1,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in2,GPIO.HIGH)
    GPIO.output(in3,GPIO.HIGH)
    GPIO.output(in4,GPIO.LOW)
#-----
def toLeft():
    print("left")
    GPIO.output(in1,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in2,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in3,GPIO.HIGH)
    GPIO.output(in4,GPIO.LOW)
#-----
def toRight():
    print("right")
    GPIO.output(in1,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in2,GPIO.HIGH)
    GPIO.output(in3,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in4,GPIO.LOW)
#-----
def task_camera():
    if cap.isOpened():
        validacao, frame = cap.read()
        while validacao:
            validacao, frame = cap.read()
            cv2.imshow("Video da cap", frame)
            key = cv2.waitKey(5)
            if key == 27: # ESC
                break
            cv2.imwrite("FotoLira.png", frame)

    cap.release()
    cv2.destroyAllWindows()
#-----
def movimentar():
    print("\n")
    print("The default speed & direction of motor is LOW & Forward.....")
    print("s-stop f-forward b-backward l-left r-right d-down atuador u-up atuador e-exit")
    print("\n")

    while(1):

```

```

x=input()

if x=='s':
    stop()
    x='z'

elif x=='f':
    toForward()
    temp1=1
    x='z'

elif x=='b':
    toBackward()
    temp1=0
    x='z'

elif x=='l':
    toLeft()
    temp1=0
    x='z'

elif x=='r':
    toRight()
    temp1=0
    x='z'

elif x=='d':
    print("down")
    motor_atuador(True)

elif x=='u':
    print("up")
    motor_atuador(False)

elif x=='e':
    GPIO.cleanup()
    break

else:
    print("<<< wrong data >>>")
    print("please enter the defined data to continue.....")
#-----MAIN-----
def lidarRP1():
    print(f'Initializing RPLidar A1 <port: {PORT_NAME}>....')
    lidar = RPLidar(PORT_NAME, baudrate=115200)

    while(1):
        try:
            print('Press Ctrl+C to stop.')
            i=0
            global med_frente, med_tras, med_direita, med_esquerda
            med_frente = 0
            med_tras = 0
            med_direita = 0
            med_esquerda = 0
            for scan in lidar.iter_scans(max_buf_meas=5000):(qualidade, angulo, distancia)
                i+=1
                values_frente = []
                values_tras = []
                values_direita = []
                values_esquerda = []
                x=[]
                y=[]
                for _ in range(360):
                    x.append(0)
                    y.append(0)
                for t in scan:

```

```

angle = int(t[1])
if(angle<360):
    x[angle] = int(t[2]) * math.cos(math.radians(angle))
    y[angle] = int(t[2]) * math.sin(math.radians(angle))
if(t[1]>=335 or t[1]<=25):#50° de angulo pra frente
    values_frente.append(t[2])
if(t[1]>=155 or t[1]<=205):#50° de angulo pra tras
    values_tras.append(t[2])
if(t[1]>=206 or t[1]<=324):#118° de angulo pra direita
    values_direita.append(t[2])
if(t[1]>=26 or t[1]<=154):#118° de angulo pra esquerda
    values_esquerda.append(t[2])
if len(values_frente)>0:
    med_frente = statistics.median(values_frente)
    print(f'Median Frente: {med_frente}')
if len(values_tras)>0:
    med_tras = statistics.median(values_tras)
    print(f'Median Tras: {med_tras}')
if len(values_direita)>0:
    med_direita = statistics.median(values_direita)
    print(f'Median Direita: {med_direita}')
if len(values_esquerda)>0:
    med_esquerda = statistics.median(values_esquerda)
    print(f'Median Esquerda: {med_esquerda}')
print("Situacao: ")
situacao = input()

if situacao=='s':
    stop()

elif situacao=='f':
    toForward()
    temp1=1

elif situacao=='b':
    toBackward()
    temp1=0

elif situacao=='l':
    toLeft()
    temp1=0

elif situacao=='r':
    toRight()
    temp1=0

file1 = open("distancias.txt", "a")
#texto = "MF;MT;MD;ME;S"
texto
str(med_frente)+";"+str(med_tras)+";"+str(med_direita)+";"+str(med_esquerda)+";"+str(situacao)+str("\n")
file1.write(texto)
file1.close()
situacao = 'z'
sleep(3)
stop()
print('-----')
sleep(7)
except KeyboardInterrupt:
    print('Stopping.')
except RPLidarException:
    print('Stopping.')
    lidar.stop()
    lidar.disconnect()
    lidarRP1()
    lidar.stop()
    lidar.disconnect()
#-----

```

```

if __name__ == '__main__':
    #thread da camera
    t = Thread(target = task_camera)
    t.daemon = True
    t.start()

    try:
        while True:
            lidarRP1()
            #movimentar()

    except KeyboardInterrupt:
        print("CTRL + C pressed")
        stop()
        GPIO.cleanup()
        try:
            sys.exit(130)
        except SystemExit:
            os._exit(130)
        finally:
            stop()
            #ao termino, liberar a GPIO
            GPIO.cleanup()
    except:
        print("Except while")
    finally:
        stop()
        #ao termino, liberar a GPIO
        GPIO.cleanup()

```

## Anexo D - Código fonte do 6o Protótipo (comedouros por cor)

```
#####
##### Código fonte do 6o Protótipo #####
### Identificação de comedouros por cor ###
##### Autor: Glauber da Rocha Balthazar #####
#####

import RPi.GPIO as GPIO
from time import sleep
import cv2
import numpy as np
import sys
import os

#--PARAMETROS GLOBAIS--
#motorizacao
in1 = 35 #vermelho24
in2 = 36 #laranja23
enA = 33 #marrom25
in3 = 37 #amarelo22
in4 = 38 #verde27
enB = 32 #azul17
#camera
cap=cv2.VideoCapture(0)
vermelho=[(160,100,100), (179,255,255)]
achou_comedouro = list()

#-----SETUP-----
GPIO.setwarnings(False)
GPIO.setmode(GPIO.BOARD)

#-----MOTORIZACAO-----
GPIO.setup(enA,GPIO.OUT)
GPIO.setup(in1,GPIO.OUT)
GPIO.setup(in2,GPIO.OUT)
GPIO.setup(in3,GPIO.OUT)
GPIO.setup(in4,GPIO.OUT)
GPIO.setup(enB,GPIO.OUT)
GPIO.output(in1,GPIO.LOW)
GPIO.output(in2,GPIO.LOW)
GPIO.output(in3,GPIO.LOW)
GPIO.output(in4,GPIO.LOW)
GPIO.output(enA,GPIO.HIGH)
GPIO.output(enB,GPIO.HIGH)
""p_enA=GPIO.PWM(enA,1000)
p_enB=GPIO.PWM(enB,1000)
VEL_HIGH=100
p_enA.start(VEL_HIGH)
p_enB.start(VEL_HIGH)""

#-----FUNCOES-----
def stop():
    print("stop")
    GPIO.output(in1,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in2,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in3,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in4,GPIO.LOW)
#-----
def toForward():
    print("forward")
    GPIO.output(in1,GPIO.HIGH)
    GPIO.output(in2,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in3,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in4,GPIO.HIGH)
```

```

#-----
def toBackward():
    print("backward")
    GPIO.output(in1,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in2,GPIO.HIGH)
    GPIO.output(in3,GPIO.HIGH)
    GPIO.output(in4,GPIO.LOW)
#-----
def toLeft():
    print("left")
    GPIO.output(in1,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in2,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in3,GPIO.HIGH)
    GPIO.output(in4,GPIO.LOW)
#-----
def toRight():
    print("right")
    GPIO.output(in1,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in2,GPIO.HIGH)
    GPIO.output(in3,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in4,GPIO.LOW)
#-----
def task_camera4():
    try:
        achou_comedouro.clear()
        if(cap.isOpened()):
            _,img=cap.read()
            hsv_img=cv2.cvtColor(img,cv2.COLOR_BGR2HSV)

            mask_vermelho = cv2.inRange(hsv_img, np.array(vermelho[0]), np.array(vermelho[1]))
            cnt_vermelho = cv2.findContours(mask_vermelho, cv2.RETR_EXTERNAL,
cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)[0]
            cnt_vermelho = sorted(cnt_vermelho, key=cv2.contourArea, reverse=True)[:1]

            if len(cnt_vermelho)>0:
                valor = cnt_vermelho[0][0]
                valor = int(valor[0][0])
                print(valor)#esse valor eh variavel

            if cnt_vermelho and valor<550:
                (cx, cy), raio = cv2.minEnclosingCircle(cnt_vermelho[0])
                cv2.putText(img, "ACHOU!", (int(cx), int(cy)), cv2.FONT_HERSHEY_COMPLEX, 0.9, (255,255,0), 1)
                cv2.circle(img, (int(cx), int(cy)), int(raio),(255,255,0),3)
                achou_comedouro.append(True)
                print("TTT")
            else:
                achou_comedouro.append(False)
                print("FFF")

            cv2.imshow("img",img)
            k=cv2.waitKey(30)
    except KeyboardInterrupt:
        print("CTRL + C pressed")
    except:
        print("Except camera")
#-----
#-----MAIN-----
if __name__ == '__main__':
    achou_comedouro.append(False)

    #GPIO.cleanup()
    #persistencia direcao
    file1 = open("direcao.txt", "w")
    file1.write("True")
    file1.close()

    #thread da camera

```

```

#t = Thread(target = task_camera5)
#t.daemon = True
#t.start()
    #executar o Lidar
    #lidarRP1()
try:
    while True:
        task_camera4()
        print(f'Resultado (achou): {achou_comedouro}')
        if(achou_comedouro[0] == True):
            toForward()
            print("Andando pra frente...")
            sleep(0.5)
            stop()
        else:
            sleep(0.5)
except KeyboardInterrupt:
    print("CTRL + C pressed")
    stop()
    GPIO.cleanup()
    try:
        sys.exit(130)
    except SystemExit:
        os._exit(130)
    finally:
        stop()
        #ao termino, liberar a GPIO
        GPIO.cleanup()
except:
    print("Except while")
finally:
    stop()
    #ao termino, liberar a GPIO
    GPIO.cleanup()

```

## Anexo E - Código fonte completo do 6o Protótipo (distanciamento)

```
#####
##### Código fonte completo do 6o Protótipo ##
##### Autor: Glauber da Rocha Balthazar #####
#####

import RPi.GPIO as GPIO
import time
import cv2
import numpy as np
import sys
import os
from threading import Thread
from rplidar import RPLidar, RPLidarException
import matplotlib.pyplot as plt
import statistics
import math
from datetime import datetime
from pyzbar.pyzbar import decode

#--PARAMETROS GLOBAIS--
#motorizacao
in1 = 35 #vermelho24
in2 = 36 #laranja23
enA = 33 #marrom25
in3 = 37 #amarelo22
in4 = 38 #verde27f
enB = 32 #azul17

#camera
cap=cv2.VideoCapture(0)
# Pega as propriedades do vídeo
frame_width = int(cap.get(cv2.CAP_PROP_FRAME_WIDTH))
frame_height = int(cap.get(cv2.CAP_PROP_FRAME_HEIGHT))
# Variáveis para controlar o zoom
zoom_factor = 1.0
zoom_step = 0.1

#motor_atuador
in1_atuador = 7 #verde
in2_atuador = 11 #branco

#-----SETUP-----
GPIO.setwarnings(False)
GPIO.setmode(GPIO.BOARD)

#-----MOTORIZACAO-----
#motores
GPIO.setup(enA,GPIO.OUT)
GPIO.setup(in1,GPIO.OUT)
GPIO.setup(in2,GPIO.OUT)
GPIO.setup(in3,GPIO.OUT)
GPIO.setup(in4,GPIO.OUT)
GPIO.setup(enB,GPIO.OUT)
GPIO.output(in1,GPIO.LOW)
GPIO.output(in2,GPIO.LOW)
GPIO.output(in3,GPIO.LOW)
GPIO.output(in4,GPIO.LOW)
GPIO.output(enA,GPIO.HIGH)
GPIO.output(enB,GPIO.HIGH)

#-----LIDAR-----
```

```

PORT_NAME = '/dev/ttyUSB0'
file1 = open("distancias.txt", "w")
texto = "MF;MT;MD;ME;\n"
file1.write(texto)
file1.close()
#FLAG para Jetson Camera
pinoFLAG = 23
GPIO.setup(pinoFLAG, GPIO.OUT, initial=GPIO.HIGH)

#FLAG para Sensor Ambiental
pinoSensorAmbientalFLAG = 24
GPIO.setup(pinoSensorAmbientalFLAG, GPIO.OUT, initial=GPIO.HIGH)
vetorPosicoesSensoriamento = [-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1]

#DIRETORIOS
capturas_dir = 'capturas'
video_dir = os.path.join(capturas_dir, 'video')
fotos_dir = os.path.join(capturas_dir, 'fotos')

#-----FUNCOES-----
def stop():
    print("stop")
    GPIO.output(in1,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in2,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in3,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in4,GPIO.LOW)
#-----
def toForward():
    print("forward")
    GPIO.output(in1,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in2,GPIO.HIGH)
    GPIO.output(in3,GPIO.HIGH)
    GPIO.output(in4,GPIO.LOW)
    time.sleep(4)
#-----
def toBackward():
    print("backward")
    GPIO.output(in1,GPIO.HIGH)
    GPIO.output(in2,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in3,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in4,GPIO.HIGH)
#-----
def toLeft():
    print("left")
    GPIO.output(in1,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in2,GPIO.HIGH)
    GPIO.output(in3,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in4,GPIO.LOW)
#-----
def toRight():
    print("right")
    GPIO.output(in1,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in2,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in3,GPIO.HIGH)
    GPIO.output(in4,GPIO.LOW)
#-----
def task_camera():
    now = datetime.now()
    fourcc = cv2.VideoWriter_fourcc(*'DIVX')
    current_time = datetime.now().strftime("%Y-%m-%d_%H-%M-%S")
    output_filename = os.path.join(video_dir, f"output_video_{current_time}.avi")
    out = cv2.VideoWriter(output_filename,fourcc, 15.0, (640,480))

    # Tempo para controle das capturas
    tempo_ultima_captura = time.time()

    while(cap.isOpened()):

```

```

ret, frame = cap.read()
if ret==True:
    out.write(frame)#gravando o video
    # Intervalo de captura (15 segundos)
    intervalo_captura = 5
    # Verificar se é hora de fazer uma nova captura
    tempo_atual = time.time()
    if tempo_atual - tempo_ultima_captura >= intervalo_captura:
        current_time = datetime.now().strftime("%Y-%m-%d_%H-%M-%S")
        image_filename = os.path.join(fotos_dir, f'captura_{current_time}.jpg')
        cv2.imwrite(image_filename, frame)
        tempo_ultima_captura = tempo_atual

#capturar QR-Code
for barcode in decode(frame):
    mydata = barcode.data.decode('utf-8')
    if(mydata=='Linha1Ponto1' and vetorPosicoesSensoriamento[0]==-1):
        print('achou ponto 11')
        vetorPosicoesSensoriamento[0]=1
    if(mydata=='Linha1Ponto2' and vetorPosicoesSensoriamento[1]==-1):
        print('achou ponto 12')
        vetorPosicoesSensoriamento[1]=1
    if(mydata=='Linha1Ponto3' and vetorPosicoesSensoriamento[2]==-1):
        print('achou ponto 13')
        vetorPosicoesSensoriamento[2]=1
    if(mydata=='Linha2Ponto1' and vetorPosicoesSensoriamento[3]==-1):
        print('achou ponto 21')
        vetorPosicoesSensoriamento[3]=1
    if(mydata=='Linha2Ponto2' and vetorPosicoesSensoriamento[4]==-1):
        print('achou ponto 22')
        vetorPosicoesSensoriamento[4]=1
    if(mydata=='Linha2Ponto3' and vetorPosicoesSensoriamento[5]==-1):
        print('achou ponto 23')
        vetorPosicoesSensoriamento[5]=1
    if(mydata=='Linha3Ponto1' and vetorPosicoesSensoriamento[6]==-1):
        print('achou ponto 31')
        vetorPosicoesSensoriamento[6]=1
    if(mydata=='Linha3Ponto2' and vetorPosicoesSensoriamento[7]==-1):
        print('achou ponto 32')
        vetorPosicoesSensoriamento[7]=1
    if(mydata=='Linha3Ponto3' and vetorPosicoesSensoriamento[8]==-1):
        print('achou ponto 33')
        vetorPosicoesSensoriamento[8]=1
    if(mydata=='Linha4Ponto1' and vetorPosicoesSensoriamento[9]==-1):
        print('achou ponto 41')
        vetorPosicoesSensoriamento[9]=1
    if(mydata=='Linha4Ponto2' and vetorPosicoesSensoriamento[10]==-1):
        print('achou ponto 42')
        vetorPosicoesSensoriamento[10]=1
    if(mydata=='Linha4Ponto3' and vetorPosicoesSensoriamento[11]==-1):
        print('achou ponto 43')
        vetorPosicoesSensoriamento[11]=1
    if(mydata=='Linha5Ponto1' and vetorPosicoesSensoriamento[12]==-1):
        print('achou ponto 51')
        vetorPosicoesSensoriamento[12]=1
    if(mydata=='Linha5Ponto2' and vetorPosicoesSensoriamento[13]==-1):
        print('achou ponto 52')
        vetorPosicoesSensoriamento[13]=1
    if(mydata=='Linha5Ponto3' and vetorPosicoesSensoriamento[14]==-1):
        print('achou ponto 53')
        vetorPosicoesSensoriamento[14]=1
    pts = np.array([barcode.polygon],np.int32)
    pts = pts.reshape((-1,1,2))
    cv2.polylines(frame,[pts],True,(255,0,255),5)
    pts2 = barcode.rect
    cv2.putText(frame,mydata,(pts2[0],pts2[1]),cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX,0.9,(255,0,255))

```

```

        cv2.imshow('frame',frame)
        if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
            break
    else:
        break
cap.release()
out.release()
cv2.destroyAllWindows()
#-----
def movimentar():
    print("\n")
    print("The default speed & direction of motor is LOW & Forward.....")
    print("s-stop f-forward b-backward l-left r-right d-down e-exit")
    print("\n")

    while(1):

        x=input()

        if x=='s':
            stop()
            x='z'

        elif x=='f':
            toForward()
            temp1=1
            x='z'

        elif x=='b':
            toBackward()
            temp1=0
            x='z'

        elif x=='l':
            toLeft()
            temp1=0
            x='z'

        elif x=='r':
            toRight()
            temp1=0
            x='z'

        elif x=='e':
            GPIO.cleanup()
            break

        else:
            print("<<< wrong data >>>")
            print("please enter the defined data to continue.....")
#-----MAIN-----
def lidarRP1():
    print(f'Initializating RPLidar A1 <port: {PORT_NAME}>....')
    lidar = RPLidar(PORT_NAME, baudrate=115200)

    while(1):
        try:
            print('Press Ctrl+C to stop.')
            i=0
            global med_frente, med_tras, med_direita, med_esquerda
            med_frente = 0
            med_tras = 0
            med_direita = 0
            med_esquerda = 0
            for scan in lidar.iter_scans(max_buf_meas=5000):#(qualidade, angulo, distancia)
                i+=1
                values_frente = []

```

```

values_tras = []
values_direita = []
values_esquerda = []
x=[]
y=[]
for _ in range(360):
    x.append(0)
    y.append(0)
for t in scan:
    angle = int(t[1])
    if(angle<360):
        x[angle] = int(t[2]) * math.cos(math.radians(angle))
        y[angle] = int(t[2]) * math.sin(math.radians(angle))
        if(t[1]>=335 or t[1]<=25):#50° de angulo pra frente
            values_frente.append(t[2])
        if(t[1]>=155 and t[1]<=205):#50° de angulo pra tras
            values_tras.append(t[2])
        if(t[1]>=206 and t[1]<=324):#118° de angulo pra direita
            values_direita.append(t[2])
        if(t[1]>=26 and t[1]<=154):#118° de angulo pra esquerda
            values_esquerda.append(t[2])
if len(values_frente)>0:
    med_frente = statistics.median(values_frente)
    print(f'Median Frente: {med_frente}')
if len(values_tras)>0:
    med_tras = statistics.median(values_tras)
    print(f'Median Tras: {med_tras}')
if len(values_direita)>0:
    med_direita = statistics.median(values_direita)
    print(f'Median Direita: {med_direita}')
if len(values_esquerda)>0:
    med_esquerda = statistics.median(values_esquerda)
    print(f'Median Esquerda: {med_esquerda}')

if(med_direita >= 45 and med_direita <= 55):
    print('Muito afastado')
if(med_esquerda >= 25 and med_esquerda <= 35):
    print('Muito proximo')

print("Situacao (s-stop; f-forward; b-backward; l-left; r-right; p-flag(Camera); j-Ligar Sensor Ambiental; k-
Desligar Sensor Ambiental)): ")

situacao = input()

if situacao=='s':
    stop()
    temp1=1

elif situacao=='f':
    toForward()
    temp1=1

elif situacao=='b':
    toBackward()
    temp1=0

elif situacao=='l':
    toLeft()
    temp1=0

elif situacao=='r':
    toRight()
    temp1=0

elif situacao=='p':
    enviarFlag()
    temp1=0

```

```

        elif situacao=='j':
            ligarSensorAmbiental()
            temp1=0

        elif situacao=='k':
            desligarSensorAmbiental()
            temp1=0

        file1 = open("distancias.txt", "a")
        #texto = "MF;MT;MD;ME;S"
        texto
str(med_frente)+";"+str(med_tras)+";"+str(med_direita)+";"+str(med_esquerda)+";"+str(situacao)+str('\n')
        file1.write(texto)
        file1.close()
        situacao = 'z'
        time.sleep(2)
        stop()
        print('Gravando distancia \n-----')

    except KeyboardInterrupt:
        print('Stopping.')
    except RPLidarException:
        print('Stopping.')
        lidar.stop()
        lidar.disconnect()
        lidarRP1()
        lidar.stop()
        lidar.disconnect()
#-----
def enviarFlag():
    GPIO.output(pinoFLAG, GPIO.HIGH)
    print("FLAG is ON")
    time.sleep(3)
    GPIO.output(pinoFLAG, GPIO.LOW)
    print("FLAG is OFF")
#-----
def ligarSensorAmbiental():
    GPIO.output(pinoSensorAmbientalFLAG, GPIO.LOW)
    print("SensorAmbietal is ON")
    print("Ao ligar o SensorAmbiental deve-se aguardar 3min para sua execucao.")
#-----
def desligarSensorAmbiental():
    GPIO.output(pinoSensorAmbientalFLAG, GPIO.HIGH)
    print("SensorAmbietal is OFF")
#-----
def criar_diretorios():
    # Diretório para salvar as imagens capturadas e os vídeos
    if not os.path.exists(capturas_dir):
        os.makedirs(capturas_dir)

    if not os.path.exists(video_dir):
        os.makedirs(video_dir)

    if not os.path.exists(fotos_dir):
        os.makedirs(fotos_dir)
#-----
if __name__ == '__main__':
    #criar diretorios
    criar_diretorios()

    #thread da camera
    t = Thread(target = task_camera)
    t.daemon = True
    t.start()

    try:

```

```
while True:
    lidarRP1()
    #movimentar()

except KeyboardInterrupt:
    print("CTRL + C pressed")
    stop()
    GPIO.cleanup()
    try:
        sys.exit(130)
    except SystemExit:
        os._exit(130)
    finally:
        stop()
        #ao termino, liberar a GPIO
        GPIO.cleanup()
except:
    print("Except while")
finally:
    stop()
    #ao termino, liberar a GPIO
    GPIO.cleanup()
```

## Anexo F - Código do Sensor Ambiental (ATMEGA 2560)

```

/***
* Código do Sensor Ambiental
* ATMEGA 2560
* Autoria: Glauber da Rocha Balthazar
***/

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BME280.h>
#include <SD.h>
#include <SPI.h>
#include <DSM501.h>
#include <RTCLib.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <MQ7.h>
#include <MQ135.h>

//BME-BMP
#define SEALEVELPRESSURE_HPA (1013.25)

//SDCard
File myFile;
const int chipSelect = 53;

//OLED
Adafruit_SSD1306 display = Adafruit_SSD1306(); //SDA e SCL

//Clock
RTC_DS1307 rtc; //SDA e SCL

//-----
//---CONSTANTES DOS PINOS---
const int pinoRele = 30;
const int pinoLuminosidade = A0;

//-----
//---VARIAVEIS GLOBAIS---
Adafruit_BME280 bme;

//DSM501A (Poeira)
#define DSM501_PM10 3
#define DSM501_PM25 4
DSM501 dsm501(DSM501_PM10, DSM501_PM25);

//contador registros
int cont = 1;

//TEMT6000
int const AREF = 5.0; //tensao referencia 5v

//MQ-7
MQ7 mq7(A1, 5.0);

//MQ-135
MQ135 mq135 = MQ135(A2);

//-----SETUP-----
void setup() {
  //inicializacao basica

```

```

Serial.begin(9600);

//Rele
pinMode(pinoRele, OUTPUT);
digitalWrite(pinoRele,LOW);
//Luminosidade
pinMode(pinoLuminosidade, INPUT);

//DSM501A
dsm501.begin(MIN_WIN_SPAN);

//SD Card
pinMode(chipSelect, OUTPUT);
if (!SD.begin()) {
  //Serial.println("Erro SD CARD!");
}

//BME-BMP
if (!bme.begin(0x76)) {
  //Serial.println("Could not find a valid BME280 sensor, check wiring!");
}

//Clock
if (! rtc.begin()) {
  //Serial.println("Clock nao inicializado!");
}
//executar abaixo sempre que remover a bateria do clock -> ano,mes,dia,hora,min,seg
//rtc.adjust(DateTime(2021, 5, 5, 18, 00, 00));

//OLED
Wire.begin();
display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C);
display.setTextColor(WHITE);
display.setTextSize(1);
display.clearDisplay();

imprimirOLED("Inicializando...");
delay(2000);

randomSeed(analogRead(0));
}

//-----LOOP-----
void loop() {
  float luminosidade;
  float temperaturaC;
  float pressaoAtmHPA;
  float altitudeM;
  float umidadeRelativa;
  float monoxidoCarbono;
  float amonia;

  String msg = "";
  String msgOLED = "";
  String poeira = "";

  imprimirOLED("Analisando o ambiente   Aguarde...");

  if(cont==1){
    msg
    "Contador;IdSensor;Luminosidade;Temperatura;PressaoAtm;Altitude;UmidadeRelativa;MonoxidoCarbono;Amoni
a;PM10;PM25;AQI;PM2.5;Data;Hora";
    gravarDadosSDCard(msg);
    msg = "";
  }
  msg += cont; msg += ",";
  msgOLED += cont; msgOLED += "-";

```

```

msg += "1,";

ligarRele(5000);

luminosidade = leituraLuminosidade();
msg += luminosidade; msg += ",";      msgOLED += "Lux:" + String(luminosidade);
temperaturaC = lerTemperaturaCelsius();
msg += temperaturaC; msg += ",";      msgOLED += " Temp:" + String(temperaturaC);
pressaoAtmHPA = lerPressaoAtmHPA();
msg += pressaoAtmHPA; msg += ",";
altitudeM = lerAltitudeMetros();
msg += altitudeM; msg += ",";
umidadeRelativa = lerUmidadeRelativa();
msg += umidadeRelativa; msg += ",";    msgOLED += " Umid:" + String(umidadeRelativa);
monoxidoCarbono = lerMQ7();
msg += monoxidoCarbono; msg += ",";    msgOLED += " CO:" + String(monoxidoCarbono);
amonia = lerMQ135();
msg += amonia; msg += ",";             msgOLED += " NH3:" + String(amonia);
poeira = leituraPoeira();
msg += poeira;                        msgOLED += " Poeira:" + String(poeira);
msg += pegarDataSistema();
msg += pegarHoraSistema();

imprimirOLED(msgOLED);

gravarDadosSDCard(msg);
//Serial.print("msg a ser enviada: ");
//Serial.println(msg);
enviarDadosESP8266(msg);

//Serial.println(msg);

desligarRele(2000);
delay(120000); //aguarda 2min
cont++;
}

//----- FUNCOES GERAIS -----
//Wi-fi
void enviarDadosESP8266(String texto){
  char copy[124];
  texto.toCharArray(copy,124);
  Serial.write(copy,124); //Write the serial data
  delay(500);
}
//-----
//Imprimir OLED
void imprimirOLED(String texto){
  display.clearDisplay();
  display.setCursor(0,0);
  display.print(texto);
  display.display();
}

//-----
//Ligar Rele
void ligarRele(int tempo){
  digitalWrite(pinoRele, LOW);
  delay(tempo);
}
//-----
//Desligar Rele
void desligarRele(int tempo){
  digitalWrite(pinoRele, HIGH);
  delay(tempo);
}

```

```

//-----
float leituraLuminosidade(){
    float vet[3];

    for(int i=0; i<3; i++){
        float sensor_value = analogRead(pinoLuminosidade);
        float volts = sensor_value * AREF / 1024.0;
        float amps = volts / 10000.0;
        float microamps = amps * 1000000.0;
        float lux = microamps * 2.0;
        vet[i] = lux;
        delay(250);
    }

    return ((vet[0]+vet[1]+vet[2])/3);
}
//-----
float lerTemperaturaCelsius(){
    float vet[3];

    for(int i=0; i<3; i++){
        vet[i] = bme.readTemperature();
        delay(250);
    }

    return ((vet[0]+vet[1]+vet[2])/3);
}
//-----
float lerPressaoAtmHPA(){
    float vet[3];

    for(int i=0; i<3; i++){
        vet[i] = (bme.readPressure() / 100.0F);
        delay(250);
    }

    return ((vet[0]+vet[1]+vet[2])/3);
}
//-----
float lerAltitudeMetros(){
    float vet[3];

    for(int i=0; i<3; i++){
        vet[i] = bme.readAltitude(SEALEVELPRESSURE_HPA);
        delay(250);
    }

    return ((vet[0]+vet[1]+vet[2])/3);
}
//-----
float lerUmidadeRelativa(){
    float vet[3];

    for(int i=0; i<3; i++){
        vet[i] = bme.readHumidity();
        delay(250);
    }

    return ((vet[0]+vet[1]+vet[2])/3);
}
//-----
float lerMQ7(){
    float vet[3];

    for(int i=0; i<3; i++){
        vet[i] = mq7.getPPM();
        delay(250);
    }

```

```

    }

    return ((vet[0]+vet[1]+vet[2])/3);
}
//-----
float lerMQ135(){
    float vet[3];

    for(int i=0; i<3; i++){
        vet[i] = mq135.getPPM();
        delay(250);
    }

    return ((vet[0]+vet[1]+vet[2])/3);
}
//-----
String leituraPoeira(){
    delay(60000);
    dsm501.update();
    String msg2 = "";

    msg2 += String(dsm501.getParticalWeight(0));
    msg2 += ",";

    msg2 += String(dsm501.getParticalWeight(1));
    msg2 += ",";

    msg2 += String(dsm501.getAQI());
    msg2 += ",";

    msg2 += String(dsm501.getPM25());
    msg2 += ",";

    return(msg2);
}
//-----
void gravarDadosSDCard(String dataString){
    myFile = SD.open("DATALOG.TXT", FILE_WRITE);

    if (myFile) {
        myFile.println(dataString);
        myFile.close();
    }
    else {
        //Serial.println("error opening datalog.txt");
    }
}
//-----
String pegarDataSistema(){
    DateTime agora = rtc.now();
    String clockCorrente = "";

    clockCorrente += String(agora.year())+"-"+agora.month()+"-"+agora.day();
    //clockCorrente += "2021-09-15";
    clockCorrente += ",";

    return clockCorrente;
}
//-----
String pegarHoraSistema(){
    DateTime agora = rtc.now();
    String clockCorrente = "";

    clockCorrente += String(agora.hour())+"-"+agora.minute()+"-"+agora.second();
    //clockCorrente += "10:12:01";
    return clockCorrente;
}

```

## Anexo G - Código do Sensor Ambiental (ESP 8266)

```

/**
 * Código do Sensor Ambiental
 * ESP8266
 * Autoria: Glauber da Rocha Balthazar
 */

#include <ESP8266HTTPClient.h>
#include <ESP8266WiFi.h>

//-----
//---CONSTANTES DA REDE---
const char* ssid = "*****";
const char* password = "*****";

//-----SETUP-----
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

//-----LOOP-----
void loop() {
  //receber dados por serial
  String valores = "";
  //while (Serial.available()) {
  if (Serial.available() > 0) {
    valores = Serial.read();
  }

  if(valores != ""){

    //conectar a rede
    WiFi.begin(ssid, password);
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
    {
      delay(500);
    }

    //enviar dados para webservice
    if(WiFi.status()== WL_CONNECTED){ //Check WiFi connection status
      HTTPClient http; //Declare object of class HTTPClient

      //http.begin("http://balthazar83.jelastic.saveincloud.net/GravarRegistroClimaArduinoService.do?temp="+String(tB)
      +"&umidade="+String(hB));
      http.begin("http://balthazar83.jelastic.saveincloud.net/ROOT-
322/SensorAmbientAereoGravarServices.do?valores="+valores);
      http.addHeader("Content-Type", "text/plain"); //Specify content-type header

      int httpCode = http.POST("Message from ESP8266"); //Send the request
      String payload = http.getString(); //Get the response payload

      Serial.println(httpCode); //Print HTTP return code
      Serial.println(payload); //Print request response payload

      http.end(); //Close connection

    }else{
      Serial.println("Error in WiFi connection");
    }
  }
}

```

## Anexo H – (Código do Sensor Umidade da Cama)

```
/**
 * Código do Sensor Umidade da Cama
 * Autoria: Glauber da Rocha Balthazar
 ***/
```

```
#include <Arduino.h>
#include <Wire.h>
#include <SD.h>
```

```
//constantes da PonteH do atuador linear (AL)
#define AL_ENB 40
#define AL_MOTORB_1 44
#define AL_MOTORB_2 43
#define AL_MOTORA_1 42
#define AL_MOTORA_2 41
#define AL_ENA 45
```

```
//constantes do sensor de umidade
int FUNDUINO = A12;
```

```
//constantes do rele
int RELE = 36;
```

```
//SDCard
File myFile;
const int chipSelect = 53;
```

```
//-----
void setup() {
  //setup: serializacao time
  Serial.println("Inicando setup...");
  Serial.begin(9600);

  //setup: atuador linear
  Serial.println("Setup: atuador linear...");
  pinMode(AL_ENA, OUTPUT);
  pinMode(AL_MOTORA_1, OUTPUT);
  pinMode(AL_MOTORA_2, OUTPUT);
  pinMode(AL_ENB, OUTPUT);
  pinMode(AL_MOTORB_1, OUTPUT);
  pinMode(AL_MOTORB_2, OUTPUT);

  //setup: FUNDUINO
  Serial.println("Setup: Funduinor...");
  pinMode(FUNDUINO, INPUT);

  //setup: RELE
  Serial.println("Setup: Relé...");
  pinMode(RELE, OUTPUT);

  //SD Card
  pinMode(chipSelect, OUTPUT);
  if (!SD.begin()) {
    //Serial.println("Erro SD CARD!");
  }

  Serial.println("Setup finalizado!");
}
//-----
void loop() {
  float funduino;
```

```

digitalWrite(RELE, LOW); Serial.print("Ligar o rele");
analogWrite(AL_ENB, VEL_ALTA);
analogWrite(AL_ENA, VEL_ALTA);
digitalWrite(AL_MOTORA_1, LOW);
digitalWrite(AL_MOTORA_2, HIGH);
digitalWrite(AL_MOTORB_1, LOW);
digitalWrite(AL_MOTORB_2, HIGH);
delay(2500);
funduino = sensorFunduino();
gravarDadosSDCard(funduino);
enviarDadosESP8266(funduino);
delay(2500);
digitalWrite(RELE, HIGH); Serial.print("Desligar o rele");

Serial.println();

}

//funcoes gerais
//-----
float sensorFunduino(){
    float vet[3];

    for(int i=0; i<3; i++){
        float temp = analogRead(FUNDUINO);
        vet[i] = temp;
        delay(10000); //aguarda 10segundos entre leituras (total 30segundos)
    }

    return ((vet[0]+vet[1]+vet[2])/3);
}
//-----
void gravarDadosSDCard(String dataString){
    myFile = SD.open("DATALOG.TXT", FILE_WRITE);

    if (myFile) {
        myFile.println(dataString);
        myFile.close();
    }
    else {
        //Serial.println("error opening datalog.txt");
    }
}
//-----
void enviarDadosESP8266(String texto){
    char copy[124];
    texto.toCharArray(copy,124);
    Serial.write(copy,124); //Write the serial data
    delay(500);
}

```

## Anexo I – Treinamento do modelo de ML para movimentação

```
#####
##### Código do Treinamento de movimentação ##
##### Autor: Glauber da Rocha Balthazar #####
#####

from sklearn.model_selection import train_test_split
import numpy as np
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.metrics import accuracy_score
from sklearn.svm import SVC
from sklearn.linear_model import LogisticRegression
from sklearn.ensemble import RandomForestClassifier
from sklearn.neural_network import MLPClassifier
from sklearn.ensemble import GradientBoostingClassifier
from sklearn.tree import DecisionTreeClassifier
from sklearn.neighbors import KNeighborsClassifier
from sklearn.ensemble import ExtraTreesClassifier
import pickle

#importar o arquivo
import pandas as pd
arquivo
pd.read_csv('C:/Users/NUPEA/Documents/PythonScripts/PredicaoRoboFrango/doi/distancias.csv',sep=';')

#colocar a S (situacao) como numerica
arquivo['S'] = arquivo['S'].replace(['l'], '-1')
arquivo['S'] = arquivo['S'].replace(['f'], '0')
arquivo['S'] = arquivo['S'].replace(['r'], '1')

#separando as variaveis entre preditoras e variaveis alvo
y = arquivo['S']
x = arquivo.drop('S',axis=1)

#criando os conjuntos de dados de treino e teste
x_treino, x_teste, y_treino, y_teste = train_test_split(x,y,test_size=0.3)

# Inicializar os modelos de algoritmo de IA
models = [
    LogisticRegression(),
    SVC(),
    RandomForestClassifier(),
    KNeighborsClassifier(),
    DecisionTreeClassifier(),
    GradientBoostingClassifier(),
    MLPClassifier()
]

# Treinar e avaliar cada modelo
for model in models:
    model.fit(x_treino, y_treino)
    y_pred = model.predict(x_teste)
    accuracy = accuracy_score(y_teste, y_pred)
    nome_modelo = type(model).__name__
    print(f"Acuracia do modelo {nome_modelo}: {accuracy*100}%")
    #realizar algumas predições
    # [MF,MD,ME]
    situacao_misterio1 = [2103.70,924.11,965.68.] #esperado: r (1)
    situacao_misterio2 = [2177.94,543.40,1637.51] #esperado: f (0)
    situacao_misterio3 = [2370.62,1158.15,962.16] #esperado: l (-1)
    situacao_misterio4 = [2789.43,1265.79,783.58] #esperado: f (0)
    #saida esperada: 1,0,-1,0

    situacoes_misteriosas = [situacao_misterio1,situacao_misterio2,situacao_misterio3,situacao_misterio4]
```

```
previsoes = model.predict(situacoes_misteriosas)
print(previsoes)

# Salvar o modelo treinado em um arquivo
filename
f"C:/Users/NUPEA/Documents/PythonScripts/PredicaoRoboFrango/doi/modelos/{nome_modelo}.sav"
pickle.dump(model, open(filename, 'wb'))
```

## Anexo J - Código final do RoboFrango

```
#####
##### Código final do RoboFrango #####
##### Autor: Glauber da Rocha Balthazar #####
#####

import sklearn
import RPi.GPIO as GPIO
import time
import cv2
import numpy as np
import sys
import os
from threading import Thread
from rplidar import RPLidar, RPLidarException
import matplotlib.pyplot as plt
import statistics
import math
from datetime import datetime
from pyzbar.pyzbar import decode
from ultralytics import YOLO
import pickle
from sklearn.ensemble import RandomForestClassifier

#--PARAMETROS GLOBAIS--
#motorizacao
in1 = 35 #vermelho24
in2 = 36 #laranja23
enA = 33 #marrom25
in3 = 37 #amarelo22
in4 = 38 #verde27f
enB = 32 #azul17

#camera
cap=cv2.VideoCapture(0)
cap.set(3, 640)
cap.set(4, 480)

#-----SETUP-----
GPIO.setwarnings(False)
GPIO.setmode(GPIO.BOARD)

#-----MOTORIZACAO-----
#motores
GPIO.setup(enA,GPIO.OUT)
GPIO.setup(in1,GPIO.OUT)
GPIO.setup(in2,GPIO.OUT)
GPIO.setup(in3,GPIO.OUT)
GPIO.setup(in4,GPIO.OUT)
GPIO.setup(enB,GPIO.OUT)
GPIO.output(in1,GPIO.LOW)
GPIO.output(in2,GPIO.LOW)
GPIO.output(in3,GPIO.LOW)
GPIO.output(in4,GPIO.LOW)
GPIO.output(enA,GPIO.HIGH)
GPIO.output(enB,GPIO.HIGH)

#-----LIDAR-----
PORT_NAME = '/dev/ttyUSB0'

#FLAG para Jetson Camera
pinoFLAG = 23
GPIO.setup(pinoFLAG, GPIO.OUT, initial=GPIO.HIGH)

#FLAG para Sensor Ambiental
pinoSensorAmbientalFLAG = 24
```

```

GPIO.setup(pinoSensorAmbientalFLAG, GPIO.OUT, initial=GPIO.HIGH)
vetorPosicoesSensoriamento = [-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1]

#DIRETORIOS
capturas_dir = 'capturas'
video_dir = os.path.join(capturas_dir, 'video')
fotos_dir = os.path.join(capturas_dir, 'fotos')

#YOLOV8
#models
model = YOLO('/home/jetson/Documents/RoboFrango2.0/RoboFrango2.0_Jetson/pesos_yolo/best.pt')
#classes
classNames = ['Comedouro', 'Grade']
class_name_dict = {0: 'Comedouro', 1: 'Grade'}
#arquivo de saida das deteccoes
fileYOLO = open("YOLOV8_LOG.txt", "w")
texto = f"Time;ClassID;Conf;Coords\n"
fileYOLO.write(texto)
fileYOLO.close()

#IA para deslocamento
filename
'/home/jetson/Documents/RoboFrango2.0/RoboFrango2.0_Jetson/pesos_ia/RandomForestClassifier.sav'
loaded_model = pickle.load(open(filename, 'rb'))

#-----FUNCOES-----
def stop():
    print("stop")
    GPIO.output(in1,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in2,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in3,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in4,GPIO.LOW)

#-----
def toForward():
    print("forward")
    GPIO.output(in1,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in2,GPIO.HIGH)
    GPIO.output(in3,GPIO.HIGH)
    GPIO.output(in4,GPIO.LOW)

#-----
def toBackward():
    print("backward")
    GPIO.output(in1,GPIO.HIGH)
    GPIO.output(in2,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in3,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in4,GPIO.HIGH)

#-----
def toLeft():
    print("left")
    GPIO.output(in1,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in2,GPIO.HIGH)
    GPIO.output(in3,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in4,GPIO.LOW)

#-----
def toRight():
    print("right")
    GPIO.output(in1,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in2,GPIO.LOW)
    GPIO.output(in3,GPIO.HIGH)
    GPIO.output(in4,GPIO.LOW)

#-----
def task_camera():
    ### OBTER IMAGEM ###
    #gravar o video do deslocamento
    now = datetime.now()
    fourcc = cv2.VideoWriter_fourcc(*'DIVX')
    current_time = datetime.now().strftime("%Y-%m-%d_%H-%M-%S")

```

```

output_filename = os.path.join(video_dir, f"output_video_{current_time}.avi")
out = cv2.VideoWriter(output_filename, fourcc, 15.0, (640,480))

#Gravar o video com as marcacoes do YOLO
output_filename_yolo = os.path.join(video_dir, f"YOLO_output_video_{current_time}.avi")
out2 = cv2.VideoWriter(output_filename_yolo, fourcc, 15.0, (640,480))

# Tempo para controle das capturas
tempo_ultima_captura = time.time()

while(cap.isOpened()):
    ret, frame = cap.read()
    if ret==True:
        out.write(frame)#gravando o video
        intervalo_captura = 2# Intervalo de captura (2 segundos)

        # Verificar se eh hora de fazer uma nova captura
        tempo_atual = time.time()
        if tempo_atual - tempo_ultima_captura >= intervalo_captura:
            current_time = datetime.now().strftime("%Y-%m-%d_%H-%M-%S")
            imagem_foto = f"captura_{current_time}.jpg"
            image_filename = os.path.join(fotos_dir, imagem_foto)
            cv2.imwrite(image_filename, frame)

            ### YOLOV8 predict ###
            results = model.predict(image_filename, save=True, imgsz=320, conf=0.32)
            for r in results:
                boxes = r.boxes
                for box in boxes:
                    cords = box.xyxy[0].tolist()
                    class_id = box.cls[0].item()
                    conf = box.conf[0].item()

                    fileYOLO = open("YOLOV8_LOG.txt", "a")
                    texto = f"{current_time};{class_id};{conf};{cords}\n"
                    fileYOLO.write(texto)
                    fileYOLO.close()

                    ### PREDICT COMEDOURO? ###
                    if class_id == 0 :
                        fileYOLODetect = open("YOLOV8_DETECT.txt", "w")
                        texto = "True"
                        fileYOLODetect.write(texto)
                        fileYOLODetect.close()

                    xB = int(cords[2])
                    xA = int(cords[0])
                    yB = int(cords[3])
                    yA = int(cords[1])
                    cv2.rectangle(frame, (xA, yA), (xB, yB), (0, 255, 0), 2)
                    cv2.putText(frame, class_name_dict[int(class_id)].upper(), (xA, int(yA - 10)),
cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 1.3, (0, 255, 0), 3, cv2.LINE_AA)

                    tempo_ultima_captura = tempo_atual
                    out2.write(frame)

            ### DETECTAR QR CODE ###
            capturarQRCode(frame,cv2)

            cv2.imshow('frame',frame)
            if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
                break
            else:
                break

cap.release()
out.release()

```

```

out2.release()
cv2.destroyAllWindows()
#-----
def capturarQRCode(frame,cv2):
    for barcode in decode(frame):
        mydata = barcode.data.decode('utf-8')
        if(mydata=='Linha1Ponto1' and vetorPosicoesSensoriamento[0]==-1):
            print('achou ponto 1.1')
            vetorPosicoesSensoriamento[0]=1
            ligarSensorAmbiental()
        if(mydata=='Linha1Ponto2' and vetorPosicoesSensoriamento[1]==-1):
            print('achou ponto 1.2')
            vetorPosicoesSensoriamento[1]=1
            ligarSensorAmbiental()
        if(mydata=='Linha1Ponto3' and vetorPosicoesSensoriamento[2]==-1):
            print('achou ponto 1.3')
            vetorPosicoesSensoriamento[2]=1
        if(mydata=='Linha2Ponto1' and vetorPosicoesSensoriamento[3]==-1):
            print('achou ponto 2.1')
            vetorPosicoesSensoriamento[3]=1
            ligarSensorAmbiental()
        if(mydata=='Linha2Ponto2' and vetorPosicoesSensoriamento[4]==-1):
            print('achou ponto 2.2')
            vetorPosicoesSensoriamento[4]=1
            ligarSensorAmbiental()
        if(mydata=='Linha2Ponto3' and vetorPosicoesSensoriamento[5]==-1):
            print('achou ponto 2.3')
            vetorPosicoesSensoriamento[5]=1
            ligarSensorAmbiental()
        if(mydata=='Linha3Ponto1' and vetorPosicoesSensoriamento[6]==-1):
            print('achou ponto 3.1')
            vetorPosicoesSensoriamento[6]=1
            ligarSensorAmbiental()
        if(mydata=='Linha3Ponto2' and vetorPosicoesSensoriamento[7]==-1):
            print('achou ponto 3.2')
            vetorPosicoesSensoriamento[7]=1
            ligarSensorAmbiental()
        if(mydata=='Linha3Ponto3' and vetorPosicoesSensoriamento[8]==-1):
            print('achou ponto 3.3')
            vetorPosicoesSensoriamento[8]=1
            ligarSensorAmbiental()
        if(mydata=='Linha4Ponto1' and vetorPosicoesSensoriamento[9]==-1):
            print('achou ponto 4.1')
            vetorPosicoesSensoriamento[9]=1
            ligarSensorAmbiental()
        if(mydata=='Linha4Ponto2' and vetorPosicoesSensoriamento[10]==-1):
            print('achou ponto 4.2')
            vetorPosicoesSensoriamento[10]=1
            ligarSensorAmbiental()
        if(mydata=='Linha4Ponto3' and vetorPosicoesSensoriamento[11]==-1):
            print('achou ponto 4.3')
            vetorPosicoesSensoriamento[11]=1
            ligarSensorAmbiental()
        if(mydata=='Linha5Ponto1' and vetorPosicoesSensoriamento[12]==-1):
            print('achou ponto 5.1')
            vetorPosicoesSensoriamento[12]=1
            ligarSensorAmbiental()
        if(mydata=='Linha5Ponto2' and vetorPosicoesSensoriamento[13]==-1):
            print('achou ponto 5.2')
            vetorPosicoesSensoriamento[13]=1
            ligarSensorAmbiental()
        if(mydata=='Linha5Ponto3' and vetorPosicoesSensoriamento[14]==-1):
            print('achou ponto 5.3')
            vetorPosicoesSensoriamento[14]=1
            ligarSensorAmbiental()
    pts = np.array([barcode.polygon],np.int32)
    pts = pts.reshape((-1,1,2))

```

```

cv2.polylines(frame,[pts],True,(255,0,255),5)
pts2 = barcode.rect
cv2.putText(frame,mydata,(pts2[0],pts2[1]),cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX,0.9,(255,0,255))
#-----
def lidarRP1():
    print(f'Initializing RPLidar A1 <port: {PORT_NAME}>....')
    lidar = RPLidar(PORT_NAME, baudrate=115200)

    while(1):
        try:
            print('Press Ctrl+C to stop.')
            i=0
            global med_frente, med_tras, med_direita, med_esquerda
            med_frente = 0
            med_tras = 0
            med_direita = 0
            med_esquerda = 0
            for scan in lidar.iter_scans(max_buf_meas=5000):#(qualidade, angulo, distancia)
                i+=1
                values_frente = []
                values_tras = []
                values_direita = []
                values_esquerda = []
                x=[]
                y=[]
                for _ in range(360):
                    x.append(0)
                    y.append(0)
                for t in scan:
                    angle = int(t[1])
                    if(angle<360):
                        x[angle] = int(t[2]) * math.cos(math.radians(angle))
                        y[angle] = int(t[2]) * math.sin(math.radians(angle))
                    if(t[1]>=335 or t[1]<=25):#50° de angulo pra frente
                        values_frente.append(t[2])
                    if(t[1]>=155 and t[1]<=205):#50° de angulo pra tras
                        values_tras.append(t[2])
                    if(t[1]>=206 and t[1]<=324):#118° de angulo pra direita
                        values_direita.append(t[2])
                    if(t[1]>=26 and t[1]<=154):#118° de angulo pra esquerda
                        values_esquerda.append(t[2])
                if len(values_frente)>0:
                    med_frente = statistics.median(values_frente)
                    print(f'Median Frente: {med_frente}')
                if len(values_tras)>0:
                    med_tras = statistics.median(values_tras)
                    print(f'Median Tras: {med_tras}')
                if len(values_direita)>0:
                    med_direita = statistics.median(values_direita)
                    print(f'Median Direita: {med_direita}')
                if len(values_esquerda)>0:
                    med_esquerda = statistics.median(values_esquerda)
                    print(f'Median Esquerda: {med_esquerda}')

            ### REALIZAR PREDICT DIREÇÃO ###
            fileYOLODetect = open("YOLOV8_DETECT.txt", "r")
            achouComedouro = fileYOLODetect.read()
            if(achouComedouro == "True"):
                situacao = [float(med_frente),float(med_direita),float(med_esquerda)]
                situacoes = [situacao]
                previsao = loaded_model.predict(situacoes)
                print("=====>>Previsao: ")
                print(previsao)
                print(type(previsao))
                valor = int(previsao.item(0))
            ### REALIZAR MOVIMENTACAO ###

```

```

        if(valor == 0):
            toForward()
        if(valor == 1):
            toLeft()
        if(valor == -1):
            toRight()
        time.sleep(2)
        stop()

    ### DIRECAO CORRETA ? ###
    ### CORRIGIR TRAJETORIA S/N z-Navegacao (predicao ok) ###
    print("Situacao (s-stop; f-forward; b-backward; l-left; r-right; j-Ligar Sensor Ambiental; k-Desligar Sensor
Ambiental; z-Navegacao (predicao ok)): ")

    situacao = input()
    if situacao=='s':
        stop()
        temp1=1

    elif situacao=='f':
        toForward()
        print("andando pra frente...")
        temp1=1

    elif situacao=='b':
        toBackward()
        temp1=0

    elif situacao=='l':
        toLeft()
        temp1=0

    elif situacao=='r':
        toRight()
        temp1=0

    elif situacao=='j':
        ligarSensorAmbiental()
        temp1=0

    elif situacao=='k':
        desligarSensorAmbiental()
        temp1=0

    elif situacao=='z':
        temp1=0

    time.sleep(5)

except KeyboardInterrupt:
    print('Stopping.')
except RPLidarException:
    print('Stopping.')
    lidar.stop()
    lidar.disconnect()
    lidarRP1()
    lidar.stop()
    lidar.disconnect()
#-----
def ligarSensorAmbiental():
    GPIO.output(pinoSensorAmbientalFLAG, GPIO.LOW)
    print("SensorAmbietal is ON")
    print("Ao ligar o SensorAmbiental deve-se aguardar 3min para sua execucao.")
#-----
def desligarSensorAmbiental():
    GPIO.output(pinoSensorAmbientalFLAG, GPIO.HIGH)
    print("SensorAmbietal is OFF")

```

```

#-----
def criar_diretorios():
    # Diretório para salvar as imagens capturadas e os vídeos
    if not os.path.exists(capturas_dir):
        os.makedirs(capturas_dir)

    if not os.path.exists(video_dir):
        os.makedirs(video_dir)

    if not os.path.exists(fotos_dir):
        os.makedirs(fotos_dir)
#-----MAIN-----
if __name__ == '__main__':
    #criar diretorios
    criar_diretorios()
    ##### Disparar Threads #####
    #thread da camera
    t = Thread(target = task_camera)
    t.daemon = True
    t.start()

    try:
        while True:
            #thread do Lidar
            lidarRP1()

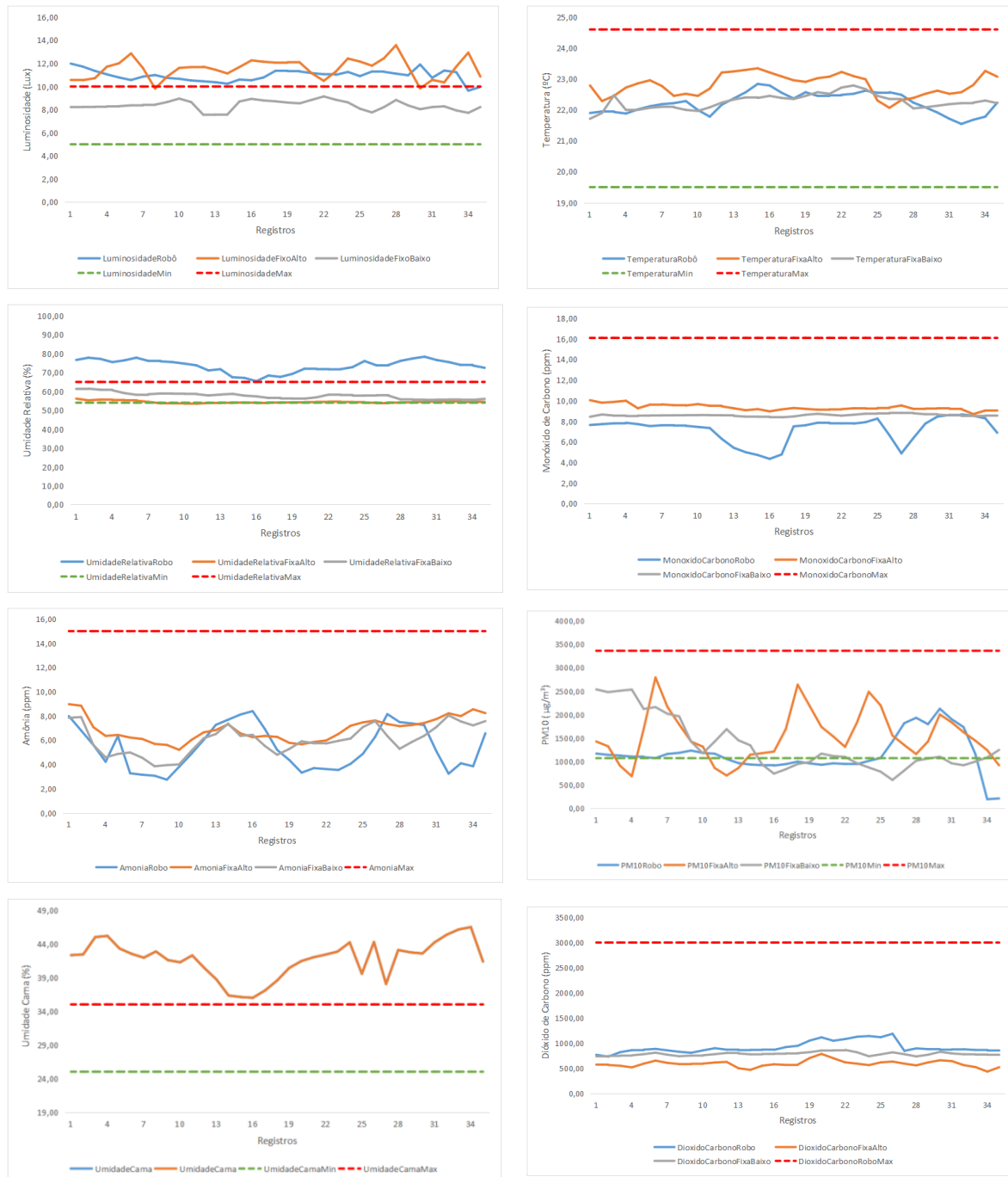
    except KeyboardInterrupt:
        print("CTRL + C pressed")
        stop()
        GPIO.cleanup()
        try:
            sys.exit(130)
        except SystemExit:
            os._exit(130)
        finally:
            stop()
            #ao termino, liberar a GPIO
            GPIO.cleanup()
    except Exception as e:
        print("Except while")
        print(e)
    finally:
        stop()
        #ao termino, liberar a GPIO
        GPIO.cleanup()

```

## Anexo K – Análise individual das partições

### Partição 1

A Figura 1 apresenta as zonas de conforto para cada variável de interesse.



**Figura 1.** Diagrama da zona de conforto e distribuição das leituras por variável de interesse.

A tabela 1 apresenta as análises descritivas das variáveis na primeira partição.

**Tabela 1.** Medidas descritivas das variáveis.

| Variável               | Sensor | Média   | Mínimo | Máximo  | Amplitude | Desvio Padrão | Variância |
|------------------------|--------|---------|--------|---------|-----------|---------------|-----------|
| Temperatura do ar      | SFA    | 22,81   | 22,07  | 23,35   | 1,28      | 0,35          | 0,13      |
|                        | SFB    | 22,27   | 21,72  | 22,79   | 1,08      | 0,25          | 0,06      |
|                        | SMR    | 22,23   | 21,54  | 22,83   | 1,30      | 0,33          | 0,12      |
| Umidade relativa do ar | SFA    | 54,38   | 53,48  | 56,16   | 2,68      | 0,61          | 0,37      |
|                        | SFB    | 57,71   | 55,49  | 61,45   | 5,97      | 1,69          | 2,85      |
|                        | SMR    | 73,55   | 65,41  | 78,38   | 12,97     | 3,44          | 11,81     |
| Luminosidade           | SFA    | 11,58   | 9,83   | 3,58    | 3,76      | 0,87          | 0,75      |
|                        | SFB    | 8,37    | 7,56   | 9,15    | 1,59      | 0,42          | 0,18      |
|                        | SMR    | 10,95   | 9,64   | 11,99   | 2,35      | 0,50          | 0,25      |
| Monóxido de Carbono    | SFA    | 9,35    | 8,70   | 10,05   | 1,35      | 0,30          | 0,09      |
|                        | SFB    | 8,59    | 8,38   | 8,80    | 0,43      | 0,12          | 0,02      |
|                        | SMR    | 7,20    | 4,35   | 8,67    | 4,33      | 1,22          | 1,47      |
| Amônia                 | SFA    | 6,87    | 5,21   | 8,97    | 3,77      | 0,98          | 0,96      |
|                        | SFB    | 6,04    | 3,85   | 8,05    | 4,20      | 1,20          | 1,42      |
|                        | SMR    | 5,38    | 2,75   | 8,40    | 5,66      | 1,81          | 3,27      |
| PM10                   | SFA    | 1534,65 | 686,75 | 2794,17 | 2107,43   | 527,35        | 278096,56 |
|                        | SFB    | 1347,16 | 608,10 | 2538,43 | 1930,33   | 575,26        | 330913,36 |
|                        | SMR    | 1158,67 | 198,21 | 2126,89 | 1928,68   | 409,68        | 167834,54 |
| Dióxido de carbono     | SFA    | 594,71  | 439,37 | 790,33  | 350,96    | 66,26         | 4389,48   |
|                        | SFB    | 790,17  | 740,58 | 870,28  | 129,70    | 33,44         | 1117,90   |
|                        | SMR    | 920,82  | 736,69 | 1190,53 | 453,85    | 114,20        | 13041,43  |

Os resultados do teste de normalidade são apresentados na tabela 2.

**Tabela 2.** Análise da normalidade dos dados (Shapiro-Wilk p valor).

| Sensor / Variável | Temperatura do ar | Umidade relativa do ar | Luminosidade | Monóxido de Carbono | Amônia | PM10  | Dióxido de carbono |
|-------------------|-------------------|------------------------|--------------|---------------------|--------|-------|--------------------|
| SFA               | 0,181             | 0,011                  | 0,684        | 0,043               | 0,261  | 0,027 | 0,325              |
| SFB               | 0,912             | 0,018                  | 0,239        | 0,022               | 0,351  | 0,001 | 0,117              |
| SMR               | 0,383             | 0,034                  | 0,730        | 0,001               | 0,052  | 0,004 | 0,068              |

Para os dados normais, as tabelas 3, 4 e 5 apresentam os resultados da homocedasticidade dos dados, a variação (ANOVA) e a comparação entre grupos (Tukey).

**Tabela 3.** Teste da homocedasticidade dos dados.

| Teste / Variável | Temperatura do ar | Luminosidade | Amônia | Dióxido de carbono |
|------------------|-------------------|--------------|--------|--------------------|
| Levene           | 0,020             | 0,002        | 0,001  | 0,048              |

**Tabela 4.** Teste variação dos dados.

| <b>Teste / Variável</b> | <b>Temperatura do ar</b> | <b>Luminosidade</b> | <b>Amônia</b> | <b>Dióxido de carbono</b> |
|-------------------------|--------------------------|---------------------|---------------|---------------------------|
| ANOVA                   | 6,58                     | 0,081               | 0,151         | 0,067                     |

**Tabela 5.** Comparação entre grupos (Tukey).

| <b>Variável / Grupos</b> | <b>Grupo1</b> | <b>Grupo2</b> | <b>P valor</b> |
|--------------------------|---------------|---------------|----------------|
| Temperatura do ar        | SFA           | SFB           | 0,001          |
|                          | SFA           | SMR           | 0,001          |
|                          | SFB           | SMR           | 0,857          |
| Luminosidade             | SFA           | SFB           | 0,944          |
|                          | SFA           | SMR           | 0,001          |
|                          | SFB           | SMR           | 0,001          |
| Amônia                   | SFA           | SFB           | 0,030          |
|                          | SFA           | SMR           | 0,001          |
|                          | SFB           | SMR           | 0,120          |
| Dióxido de carbono       | SFA           | SFB           | 0,001          |
|                          | SFA           | SMR           | 0,001          |
|                          | SFB           | SMR           | 0,001          |

Para os dados que não seguem distribuição normal, as tabelas 6 e 7 apresentam os resultados da homocedasticidade dos dados (Fligner-Killen) e a comparação entre grupos (Conover).

**Tabela 6.** Teste da homocedasticidade dos dados.

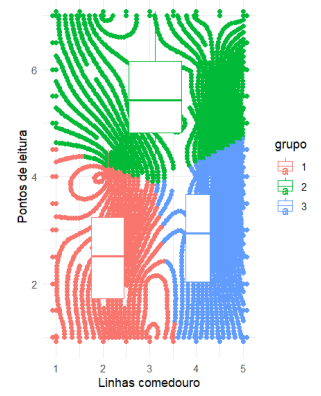
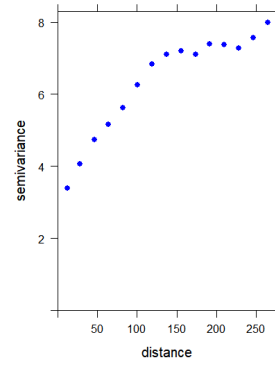
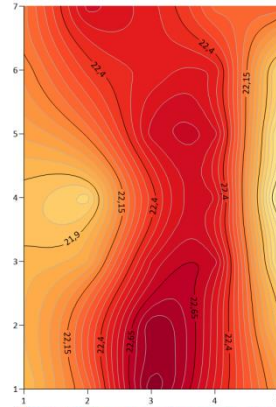
| <b>Teste / Variável</b> | <b>Umidade relativa do ar</b> | <b>Monóxido de Carbono</b> | <b>PM10</b> |
|-------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------|
| Fligner-Killen          | 0,001                         | 0,001                      | 0,087       |

**Tabela 7.** Comparação entre grupos (Conover).

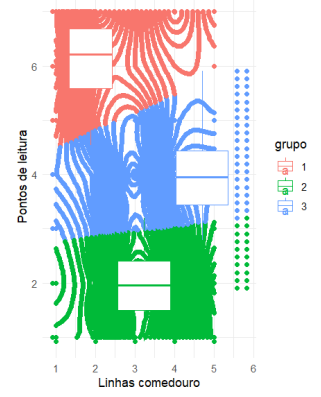
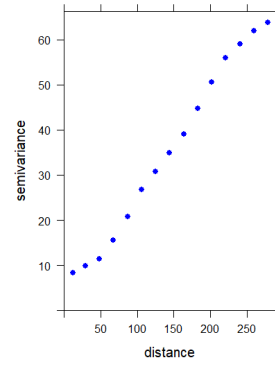
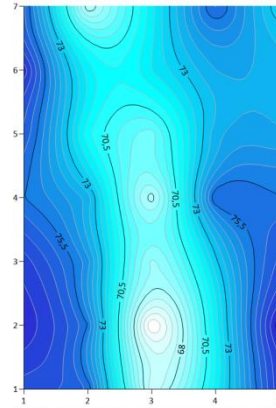
| <b>Variável / Grupos</b> | <b>Grupo1</b> | <b>Grupo2</b> | <b>P valor</b> |
|--------------------------|---------------|---------------|----------------|
| Umidade relativa do ar   | SFA           | SFB           | 0,001          |
|                          | SFA           | SMR           | 0,001          |
|                          | SFB           | SMR           | 0,001          |
| Monóxido de Carbono      | SFA           | SFB           | 0,001          |
|                          | SFA           | SMR           | 0,001          |
|                          | SFB           | SMR           | 0,001          |
| PM10                     | SFA           | SFB           | 0,335          |
|                          | SFA           | SMR           | 0,004          |
|                          | SFB           | SMR           | 0,262          |

O mapa krigado da temperatura, o mapa de variância, o agrupamento dos dados com o algoritmo K-means e as métricas associadas são apresentadas na Figura 2.

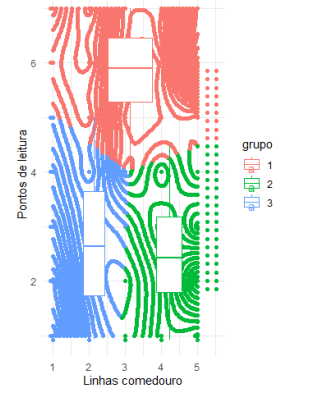
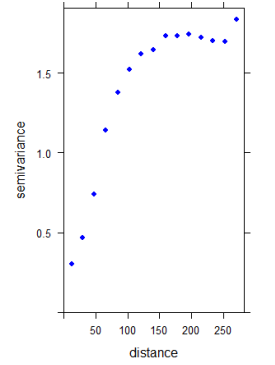
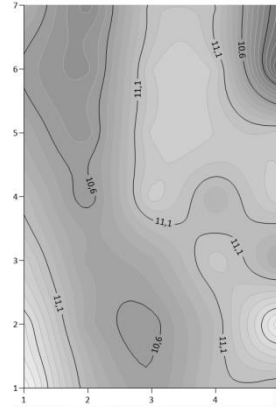
Temperatura do ar



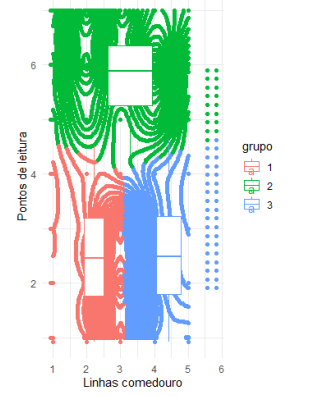
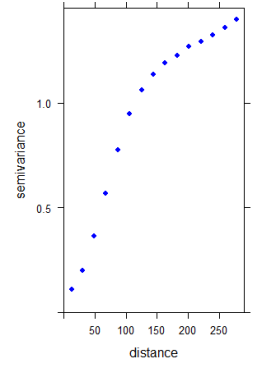
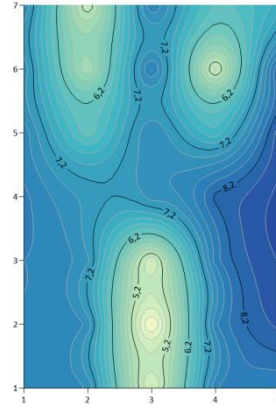
Umidade relativa do ar



Luminosidade



Monóxido de Carbono



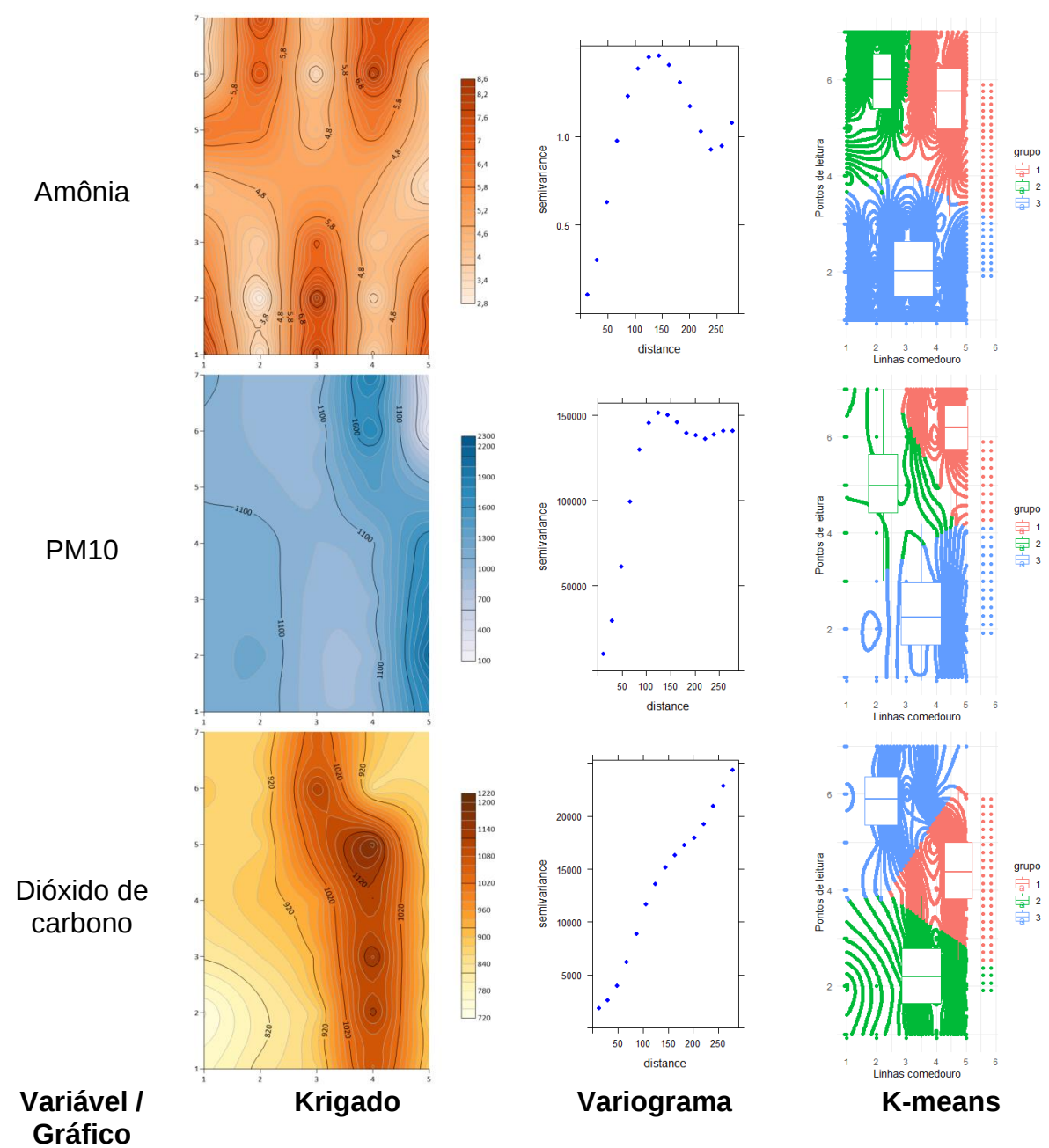


Figura 2. Distribuição das temperaturas na primeira partição.

Por fim, as métricas de análise da distribuição dos dados no mapa Krigado são apresentadas na Tabela 8.

**Tabela 8.** Métricas da análise da temperatura coletada pelo robô (Sensor Móvel Robo).

| Variável               | MIS   | Alcance         |
|------------------------|-------|-----------------|
| Temperatura do ar      | 0,532 | de 0 até 136,65 |
| Umidade relativa do ar | 0,689 | de 0 até 841,27 |
| Luminosidade           | 0,871 | de 0 até 725,65 |
| Monóxido de Carbono    | 0,621 | de 0 até 101,54 |
| Amônia                 | 0,567 | de 0 até 625,21 |
| PM10                   | 0,702 | de 0 até 784,27 |
| Dióxido de carbono     | 0,617 | de 0 até 768,49 |
| MIS: Moran I statistic |       |                 |

### Conclusões:

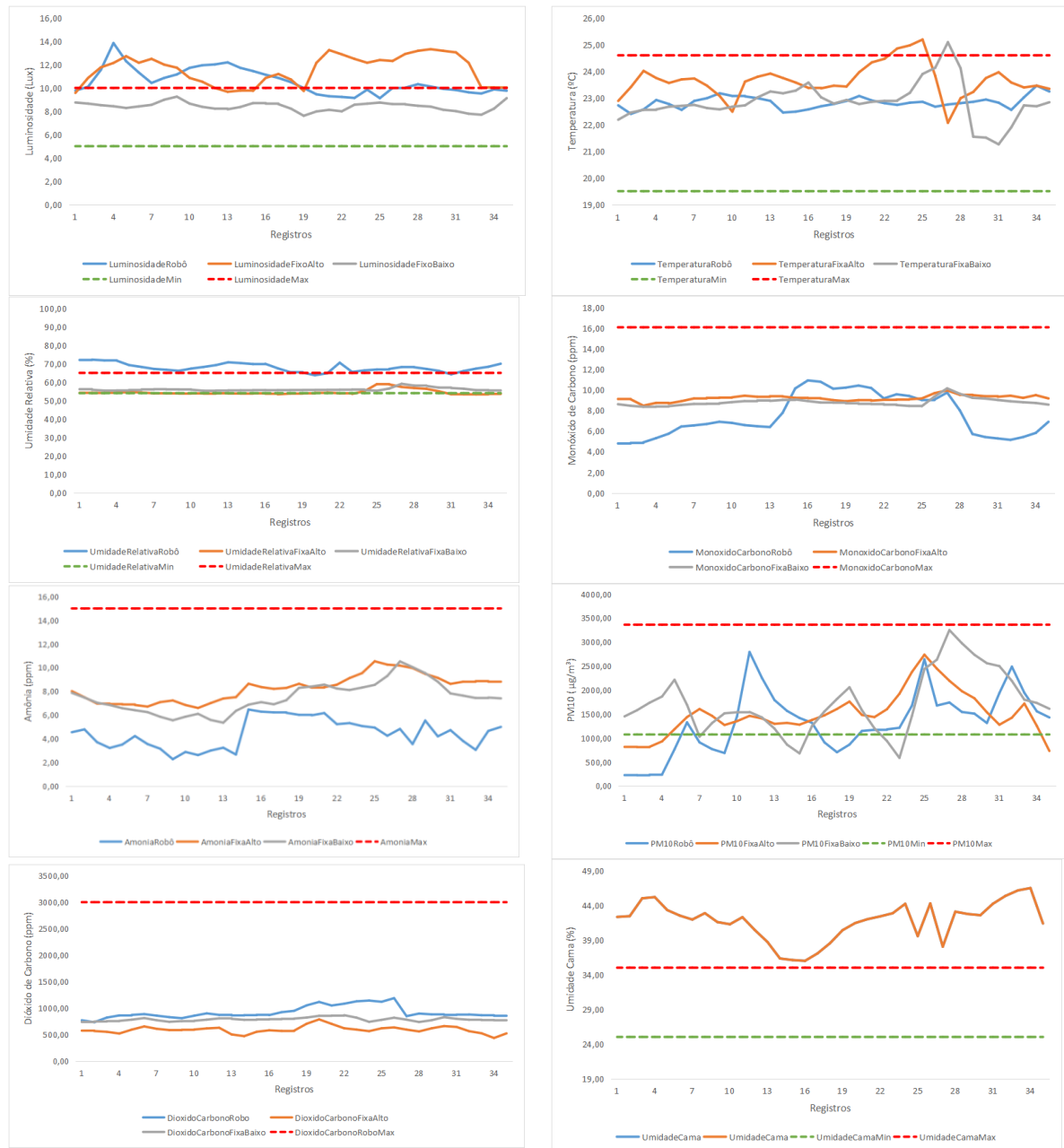
- **Temperatura:** As médias da temperatura foram comparadas e os resultados indicaram que há presença de diferença significativa entre SFA/SFB ( $p=0,001$ ) e SFA/SMR ( $p=0,001$ ) mas não há entre SFB/SMR ( $p=0,857$ ). A dispersão dos dados da temperatura apresentou uma autocorrelação positiva ( $MIS = 0,532$ ), com alcance na dispersão desses dados de até 136,65 e o k-means determinou que as três classes de agrupamento possuíam semelhanças significativas; ou seja, não há diferenças na temperatura do sensor baixo e do robô, e sim com relação ao sensor no alto.
- **Luminosidade:** Não houve diferença significativa entre a luminosidade detectada pelo SFA/SFB ( $p=0,944$ ) porém houve entre o SFA/SMR ( $p=0,001$ ) e o SFB/SMR ( $p=0,001$ ). A dispersão dos dados da luminosidade apresentou uma autocorrelação positiva ( $MIS = 0,871$ ), com alcance na dispersão desses dados de até 725,65 e o k-means determinou que as três classes de agrupamento possuíam semelhanças significativas;
- **Amônia:** Os níveis de amônia apresentaram diferença significativa entre SFA/SFB ( $p=0,030$ ) e SFA/SMR ( $p=0,001$ ). Ou seja, há diferenças entre o sensor que está a 2m da cama em relação ao sensor que está a 30cm e o sensor do robô, contudo, não há diferença entre o sensor que está a 30cm do solo (SFB) e o sensor do robô (SMR) ( $p=0,120$ ). A dispersão dos dados da amônia apresentou uma autocorrelação positiva ( $MIS = 0,567$ ), com alcance na dispersão desses dados de até 625,21 e o k-means determinou que as três classes de agrupamento possuíam semelhanças significativas;
- **Dióxido de carbono:** Há diferenças do sensor do robô (SMR) em relação ao fixo a 30cm da cama (SFB) ( $p=0,001$ ), entre o sensor do robô e o do sensor a

2m da cama (SFA) ( $p=0,001$ ) e também entre os dois sensores fixos (SFA/SFB,  $p=0,001$ ). A dispersão dos dados de dióxido de carbono apresentou uma autocorrelação positiva ( $MIS = 0,617$ ), com alcance na dispersão desses dados de até 768,49 e o k-means determinou que as três classes de agrupamento possuíam semelhanças significativas; ou seja, houve diferença significativa entre todos os sensores para o Dióxido de Carbono.

- **Umidade relativa:** A umidade relativa apresentou diferenças significativas entre todos os sensores, ou seja, há diferenças entre as médias das leituras da umidade para os três sensores indicando haver uma variação muito grande da umidade na comparação das médias das leituras nos três sensores. A dispersão dos dados da umidade relativa do ar apresentou uma autocorrelação positiva ( $MIS = 0,689$ ), com alcance na dispersão desses dados de até 841,27 e o k-means determinou que as três classes de agrupamento possuíam semelhanças significativas;
- **Poeira (PM10):** O nível de poeira PM10 não apresentou diferença significativa entre os sensores SFA/SFB ( $p=0,335$ ), indicando que não há diferença dos níveis de poeira entre os sensores fixos de alturas diferentes, e entre o SFB/SMR ( $p=0,262$ ) indicando que os níveis de poeira do sensor baixo não possuem diferença em relação ao robô. Contudo apresentou diferença entre o SFA/SMR ( $p=0,004$ ) e esse fato pode ter ocorrido em decorrência da movimentação do robô pelo aviário o que fez o robô captar diferentes médias de PM10 em relação ao sensor de 2m de altura. A dispersão dos dados da poeira PM10 apresentou uma autocorrelação positiva ( $MIS = 0,702$ ), com alcance na dispersão desses dados de até 784,27 e o k-means determinou que as três classes de agrupamento possuíam semelhanças significativas; e
- **Monóxido de carbono:** O monóxido de carbono apresentou diferenças significativas das leituras das médias em todos os sensores indicando haver uma variabilidade da quantidade do gás na comparação entre os três sensores. A dispersão dos dados do monóxido de carbono apresentou uma autocorrelação positiva ( $MIS = 0,621$ ), com alcance na dispersão desses dados de até 101,54 e o k-means determinou que as três classes de agrupamento possuíam semelhanças significativas.

## Partição 2

A Figura 3 apresenta as zonas de conforto para cada variável de interesse.



**Figura 3.** Diagrama da zona de conforto e distribuição das leituras por variável de interesse.

A tabela 9 apresenta as análises descritivas das variáveis na segunda partição.

**Tabela 9.** Medidas descritivas das variáveis.

| Variável               | Sensor | Média   | Mínimo | Máximo  | Amplitude | Desvio Padrão | Variância |
|------------------------|--------|---------|--------|---------|-----------|---------------|-----------|
| Temperatura do ar      | SFA    | 23,65   | 22,07  | 25,20   | 3,14      | 0,63          | 0,39      |
|                        | SFB    | 22,85   | 21,26  | 25,10   | 3,83      | 0,74          | 0,55      |
|                        | SMR    | 22,84   | 22,40  | 23,46   | 1,07      | 0,23          | 0,06      |
| Umidade relativa do ar | SFA    | 54,47   | 53,34  | 58,89   | 5,56      | 1,43          | 2,04      |
|                        | SFB    | 56,04   | 55,30  | 59,08   | 3,79      | 0,84          | 0,71      |
|                        | SMR    | 67,98   | 63,72  | 72,20   | 8,48      | 2,30          | 5,25      |
| Luminosidade           | SFA    | 11,55   | 9,58   | 13,33   | 3,76      | 1,26          | 1,58      |
|                        | SFB    | 8,42    | 7,61   | 9,26    | 1,65      | 0,38          | 0,14      |
|                        | SMR    | 10,57   | 9,13   | 13,86   | 4,74      | 1,11          | 1,23      |
| Monóxido de Carbono    | SFA    | 9,21    | 8,48   | 9,96    | 1,49      | 0,29          | 0,09      |
|                        | SFB    | 8,82    | 8,37   | 10,16   | 1,80      | 0,38          | 0,14      |
|                        | SMR    | 7,52    | 4,81   | 10,94   | 6,13      | 2,05          | 4,18      |
| Amônia                 | SFA    | 8,26    | 6,59   | 10,54   | 3,95      | 1,13          | 1,26      |
|                        | SFB    | 7,48    | 5,35   | 10,53   | 5,19      | 1,29          | 1,66      |
|                        | SMR    | 4,42    | 2,27   | 6,47    | 4,20      | 1,23          | 1,51      |
| PM10                   | SFA    | 1502,18 | 730,08 | 2736,99 | 2006,93   | 457,54        | 209336,59 |
|                        | SFB    | 1728,25 | 584,99 | 3249,26 | 2664,27   | 636,14        | 404670,53 |
|                        | SMR    | 1331,22 | 223,38 | 2794,17 | 2570,80   | 654,51        | 428377,64 |
| Dióxido de carbono     | SFA    | 553,91  | 379,40 | 763,51  | 384,11    | 93,30         | 8703,29   |
|                        | SFB    | 754,01  | 697,71 | 858,64  | 160,93    | 37,56         | 1410,59   |
|                        | SMR    | 1058,39 | 837,14 | 1187,01 | 349,87    | 96,42         | 9295,58   |

Os resultados do teste de normalidade são apresentados na tabela 10.

**Tabela 10.** Análise da normalidade dos dados (Shapiro-Wilk p valor). NAO SIM

| Sensor / Variável | Temperatura do ar | Umidade relativa do ar | Luminosidade | Monóxido de Carbono | Amônia | PM10  | Dióxido de carbono |
|-------------------|-------------------|------------------------|--------------|---------------------|--------|-------|--------------------|
| SFA               | 0,072             | 0,001                  | 0,006        | 0,030               | 0,078  | 0,054 | 0,039              |
| SFB               | 0,061             | 0,001                  | 0,008        | 0,001               | 0,646  | 0,335 | 0,032              |
| SMR               | 0,773             | 0,042                  | 0,017        | 0,001               | 0,132  | 0,384 | 0,002              |

Para os dados normais, as tabelas 11, 12 e 13 apresentam os resultados da homocedasticidade dos dados, a variação (ANOVA) e a comparação entre grupos (Tukey).

**Tabela 11.** Teste da homocedasticidade dos dados.

| Teste / Variável | Temperatura do ar | Amônia | PM10  |
|------------------|-------------------|--------|-------|
| Levene           | 0,062             | 0,699  | 0,124 |

**Tabela 12.** Teste variação dos dados.

| Teste / Variável | Temperatura do ar | Amônia | PM10  |
|------------------|-------------------|--------|-------|
| ANOVA            | 0,506             | 0,081  | 0,722 |

**Tabela 13.** Comparação entre grupos (Tukey).

| <b>Variável / Grupos</b> | <b>Grupo1</b> | <b>Grupo2</b> | <b>P valor</b> |
|--------------------------|---------------|---------------|----------------|
| Temperatura do ar        | SFA           | SFB           | 0,001          |
|                          | SFA           | SMR           | 0,001          |
|                          | SFB           | SMR           | 0,990          |
| Amônia                   | SFA           | SFB           | 0,022          |
|                          | SFA           | SMR           | 0,001          |
|                          | SFB           | SMR           | 0,421          |
| PM10                     | SFA           | SFB           | 0,248          |
|                          | SFA           | SMR           | 0,448          |
|                          | SFB           | SMR           | 0,015          |

Para os dados que não seguem distribuição normal, as tabelas 14 e 15 apresentam os resultados da homocedasticidade dos dados (Fligner-Killen) e a comparação entre grupos (Conover).

**Tabela 14.** Teste da homocedasticidade dos dados.

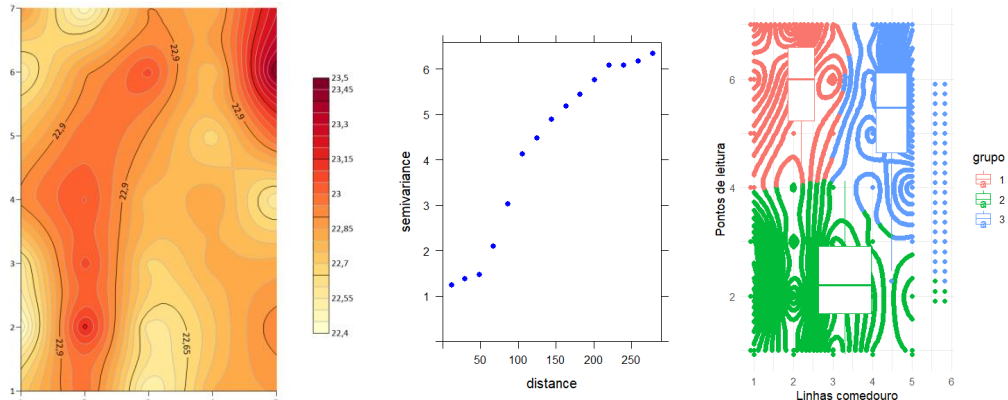
| <b>Teste / Variável</b> | <b>Umidade relativa do ar</b> | <b>Luminosidade</b> | <b>Monóxido de Carbono</b> | <b>Dióxido de carbono</b> |
|-------------------------|-------------------------------|---------------------|----------------------------|---------------------------|
| Fligner-Killen          | 0,001                         | 0,125               | 0,001                      | 0,018                     |

**Tabela 15.** Comparação entre grupos (Conover).

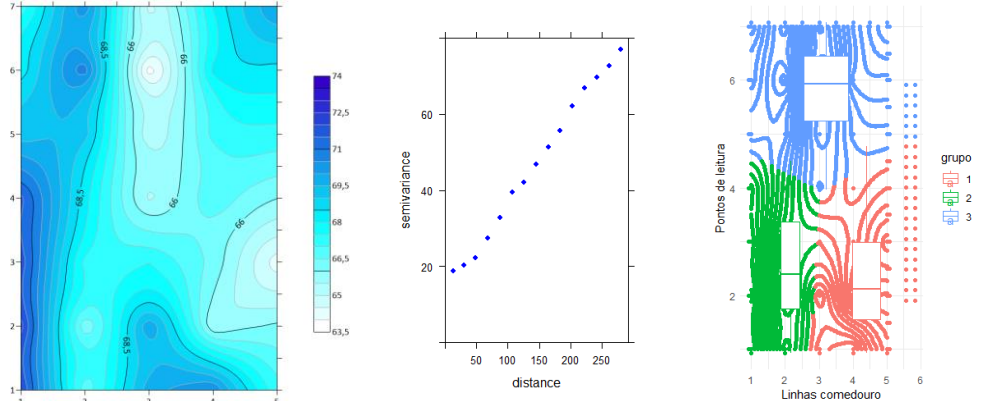
| <b>Variável / Grupos</b> | <b>Grupo1</b> | <b>Grupo2</b> | <b>P valor</b> |
|--------------------------|---------------|---------------|----------------|
| Umidade relativa do ar   | SFA           | SFB           | 0,002          |
|                          | SFA           | SMR           | 0,001          |
|                          | SFB           | SMR           | 0,000          |
| Luminosidade             | SFA           | SFB           | 0,210          |
|                          | SFA           | SMR           | 0,027          |
|                          | SFB           | SMR           | 0,032          |
| Monóxido de Carbono      | SFA           | SFB           | 0,001          |
|                          | SFA           | SMR           | 0,007          |
|                          | SFB           | SMR           | 0,020          |
| Dióxido de carbono       | SFA           | SFB           | 0,001          |
|                          | SFA           | SMR           | 0,001          |
|                          | SFB           | SMR           | 0,001          |

O mapa krigado da temperatura, o mapa de variância, o agrupamento dos dados com o algoritmo K-means e as métricas associadas são apresentadas (Figura 4).

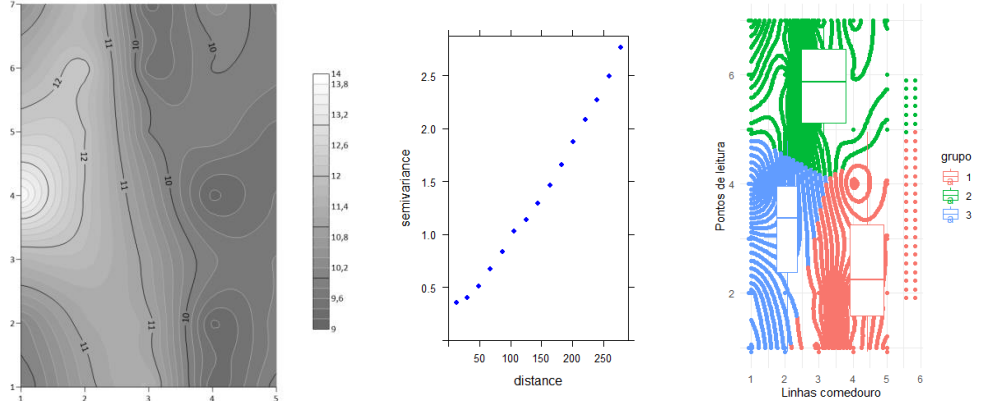
Temperatura do ar



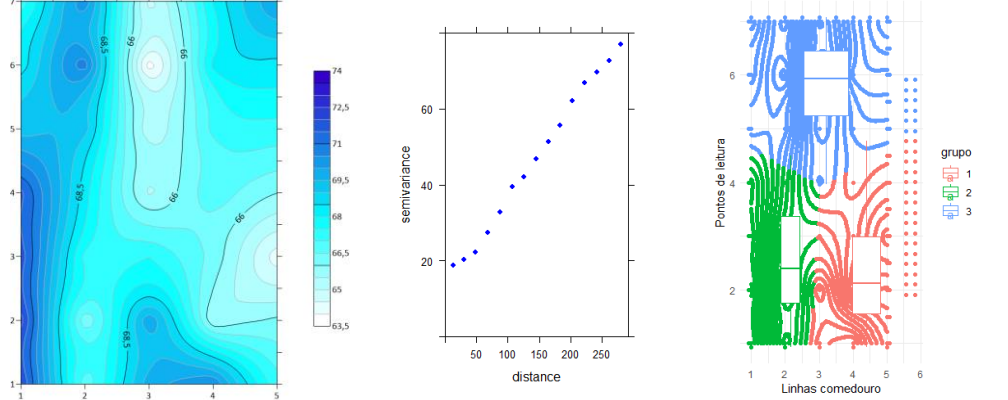
Umidade relativa do ar

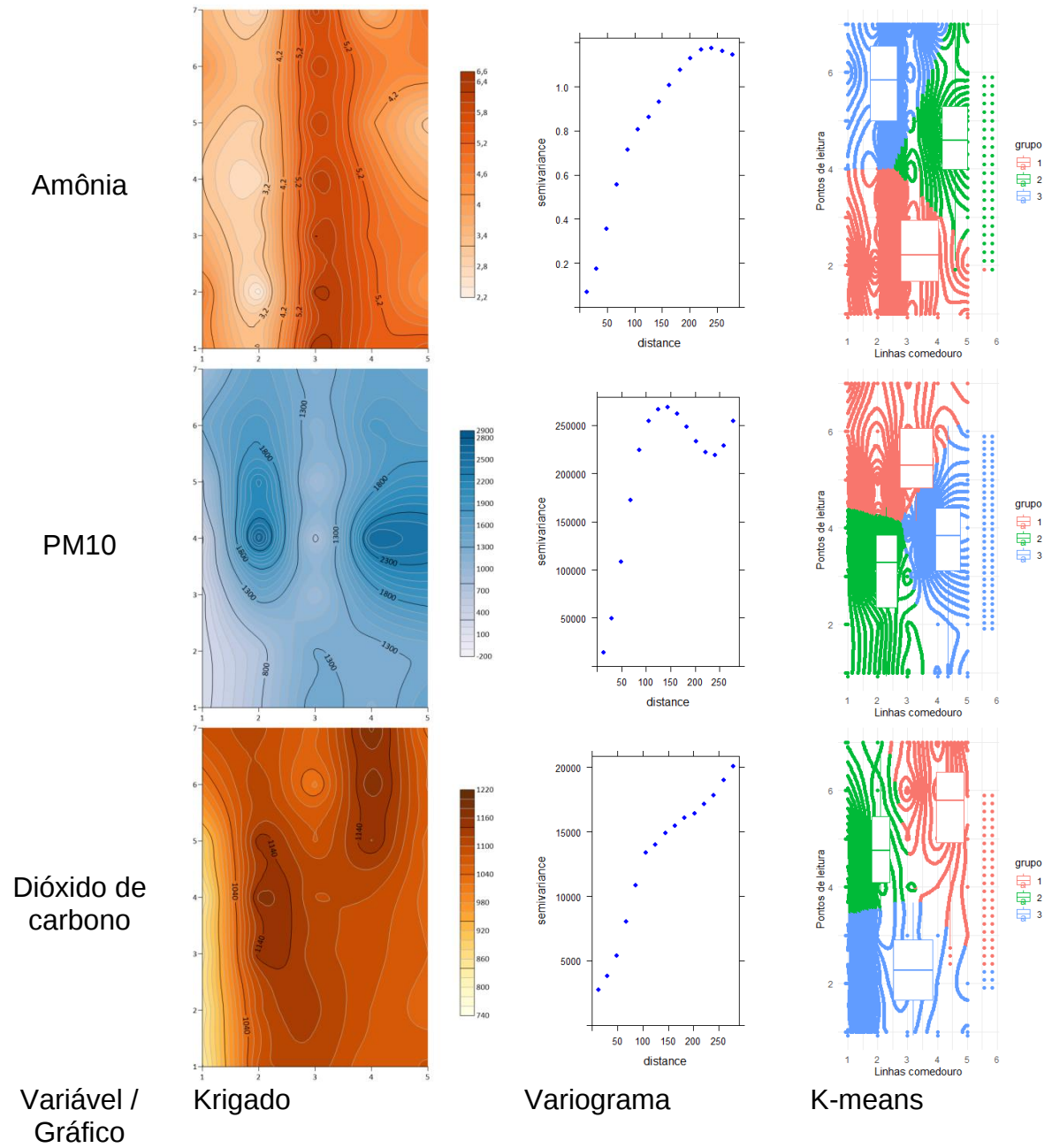


Luminosidade



Monóxido de Carbono





**Figura 4.** Distribuição das temperaturas na primeira partição.

Por fim, as métricas de análise da distribuição dos dados no mapa Krigado são apresentados na Tabela 16.

**Tabela 16.** Métricas da análise da temperatura coletada pelo robô (Sensor Móvel Robo).

| Variável               | MIS   | Alcance          |
|------------------------|-------|------------------|
| Temperatura do ar      | 0,547 | de 0 até 125,64  |
| Umidade relativa do ar | 0,741 | de 0 até 745,95  |
| Luminosidade           | 0,852 | de 0 até 1254,32 |
| Monóxido de Carbono    | 0,658 | de 0 até 142,31  |
| Amônia                 | 0,638 | de 0 até 508,27  |
| PM10                   | 0,632 | de 0 até 754,28  |
| Dióxido de carbono     | 0,641 | de 0 até 767,87  |
| MIS: Moran I statistic |       |                  |

**Conclusões:**

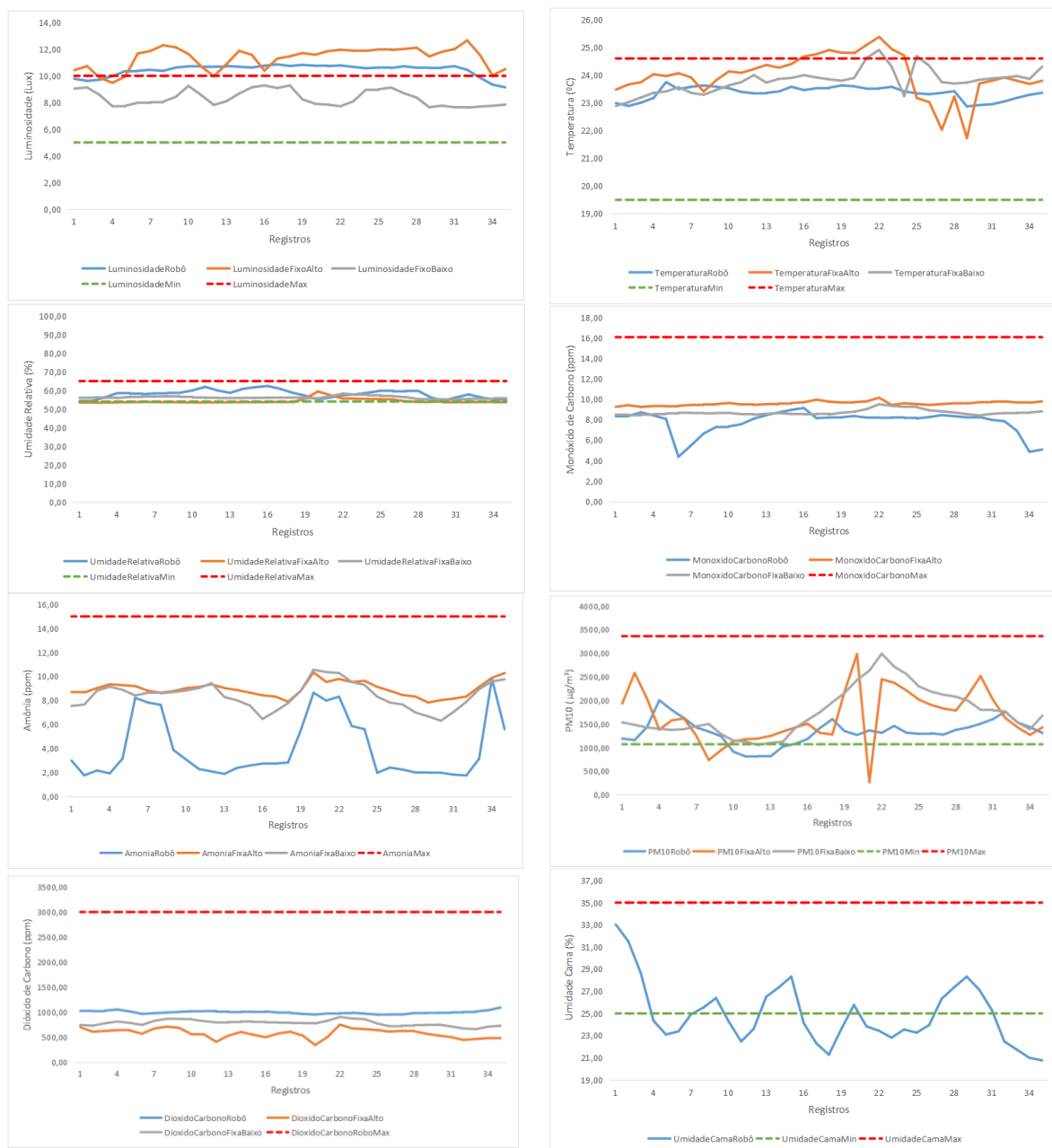
- **Temperatura:** As médias da temperatura foram comparadas e os resultados indicaram que há presença de diferença significativa entre SFA/SFB ( $p=0,001$ ) e SFA/SMR ( $p=0,001$ ) mas não há entre SFB/SMR ( $p=0,990$ ). Isso corrobora com estudos de Mascarenhas et al. (2018), Abreu e Abreu (2011) e Sarmento et al (2005) que afirmam que a temperatura nas partições pode variar de acordo com a altura em relação ao solo devido a fatores como a circulação do ar, a presença de fontes de calor, exposição à radiação solar, calor gerado pela cama e os próprios animais, dentre outros. A dispersão dos dados da temperatura do ar apresentou uma autocorrelação positiva (MIS = 0,547), com alcance na dispersão desses dados de até 125,64 e o k-means determinou que as três classes de agrupamento possuíam semelhanças significativas;
- **Luminosidade:** Não houve diferença significativa entre a luminosidade detectada pelo SFA/SFB ( $p=0,210$ ) porém houve entre o SFA/SMR ( $p=0,001$ ) e o SFB/SMR ( $p=0,001$ ). A dispersão dos dados da luminosidade apresentou uma autocorrelação positiva (MIS = 0,852), com alcance na dispersão desses dados de até 1254,32 e o k-means determinou que as três classes de agrupamento possuíam semelhanças significativas;
- **Amônia:** Os níveis de amônia apresentaram diferença significativa entre SFA/SFB ( $p=0,030$ ) e SFA/SMR ( $p=0,001$ ). Ou seja, há diferenças entre o sensor que está a 2m da cama em relação ao sensor que está a 30cm e o sensor do robô, contudo, não há diferença entre o sensor que está a 30cm do solo (SFB) e o sensor do robô (SMR) ( $p=0,421$ ). A dispersão dos dados da amônia apresentou uma autocorrelação positiva (MIS = 0,638), com alcance

na dispersão desses dados de até 142,31 e o k-means determinou que as três classes de agrupamento possuíam semelhanças significativas;

- **Dióxido de carbono:** Houve diferença significativa entre todos os sensores para o Dióxido de Carbono. Há diferenças do sensor do robô (SMR) em relação ao fixo a 30cm da cama (SFB) ( $p=0,001$ ), entre o sensor do robô e o do sensor a 2m da cama (SFA) ( $p=0,001$ ) e também entre os dois sensores fixos (SFA/SFB,  $p=0,001$ ). A dispersão dos dados de dióxido de carbono apresentou uma autocorrelação positiva ( $MIS = 0,641$ ), com alcance na dispersão desses dados de até 768,87 e o k-means determinou que as três classes de agrupamento possuíam semelhanças significativas;
- **Umidade relativa:** A umidade relativa apresentou diferenças significativas entre todos os sensores, ou seja, há diferenças entre as médias das leituras da umidade para os três sensores indicando haver uma variação muito grande da umidade na comparação das médias das leituras nos três sensores. A dispersão dos dados da umidade relativa do ar apresentou uma autocorrelação positiva ( $MIS = 0,741$ ), com alcance na dispersão desses dados de até 745,95 e o k-means determinou que as três classes de agrupamento possuíam semelhanças significativas;
- **Poeira (PM10):** O nível de poeira PM10 apresentou diferença significativa entre os sensores SFB/SMR ( $p=0,015$ ) mas não entre os sensores SFA/SFB ( $p=0,248$ ) e SFA/SMR ( $p=0,448$ ). A dispersão dos dados da poeira PM10 apresentou uma autocorrelação positiva ( $MIS = 0,632$ ), com alcance na dispersão desses dados de até 754,28 e o k-means determinou que as três classes de agrupamento possuíam semelhanças significativas; e
- **Monóxido de carbono:** O monóxido de carbono apresentou diferenças significativas das leituras das médias em todos os sensores indicando haver uma variabilidade da quantidade do gás na comparação entre os três sensores. A dispersão dos dados do monóxido de carbono apresentou uma autocorrelação positiva ( $MIS = 0,658$ ), com alcance na dispersão desses dados de até 142,31 e o k-means determinou que as três classes de agrupamento possuíam semelhanças significativas.

### Partição 3

A Figura 11 apresenta as zonas de conforto para cada variável de interesse.



**Figura 5.** Diagrama da zona de conforto e distribuição das leituras por variável de interesse.

A tabela 17 apresenta as análises descritivas das variáveis na terceira partição.

**Tabela 17.** Medidas descritivas das variáveis.

| Variável               | Sensor | Média   | Mínimo  | Máximo  | Amplitude | Desvio Padrão | Variância |
|------------------------|--------|---------|---------|---------|-----------|---------------|-----------|
| Temperatura do ar      | SFA    | 23,99   | 21,73   | 25,38   | 3,65      | 0,78          | 0,61      |
|                        | SFB    | 23,80   | 22,89   | 24,91   | 2,02      | 0,45          | 0,20      |
|                        | SMR    | 23,36   | 22,88   | 23,75   | 0,88      | 0,25          | 0,06      |
| Umidade relativa do ar | SFA    | 54,24   | 53,41   | 59,45   | 6,04      | 1,27          | 1,60      |
|                        | SFB    | 59,21   | 55,14   | 58,31   | 3,17      | 0,70          | 0,48      |
|                        | SMR    | 58,08   | 54,32   | 62,33   | 8,02      | 2,22          | 4,91      |
| Luminosidade           | SFA    | 11,35   | 9,48    | 12,67   | 3,19      | 0,82          | 0,67      |
|                        | SFB    | 8,34    | 7,62    | 9,28    | 1,67      | 0,59          | 0,35      |
|                        | SMR    | 10,44   | 9,14    | 10,86   | 1,73      | 0,45          | 0,20      |
| Monóxido de Carbono    | SFA    | 9,59    | 9,25    | 10,14   | 0,89      | 0,20          | 0,04      |
|                        | SFB    | 8,72    | 8,43    | 9,51    | 1,09      | 0,27          | 0,07      |
|                        | SMR    | 7,78    | 4,38    | 9,15    | 4,78      | 1,16          | 1,34      |
| Amônia                 | SFA    | 8,95    | 7,83    | 10,34   | 2,52      | 0,62          | 0,39      |
|                        | SFB    | 8,42    | 6,30    | 10,55   | 4,25      | 1,10          | 1,20      |
|                        | SMR    | 3,96    | 1,75    | 9,82    | 8,07      | 2,52          | 6,32      |
| PM10                   | SFA    | 1661,14 | 268,87  | 2984,75 | 2715,89   | 568,85        | 323580,85 |
|                        | SFB    | 1750,89 | 1058,52 | 2992,54 | 1934,03   | 506,51        | 256551,79 |
|                        | SMR    | 1337,98 | 814,81  | 2004,26 | 1189,46   | 268,12        | 7886,47   |
| Dióxido de carbono     | SFA    | 573,91  | 340,93  | 748,57  | 407,64    | 90,64         | 8215,57   |
|                        | SFB    | 779,76  | 656,21  | 900,46  | 244,25    | 57,53         | 3308,83   |
|                        | SMR    | 995,14  | 948,72  | 1088,89 | 140,17    | 30,31         | 918,48    |

Os resultados do teste de normalidade são apresentados na tabela 18.

**Tabela 18.** Análise da normalidade dos dados (Shapiro-Wilk p valor).

| Sensor / Variável | Temperatura do ar | Umidade relativa do ar | Luminosidade | Monóxido de Carbono | Amônia | PM10  | Dióxido de carbono |
|-------------------|-------------------|------------------------|--------------|---------------------|--------|-------|--------------------|
| SFA               | 0,062             | 0,001                  | 0,003        | 0,034               | 0,777  | 0,780 | 0,901              |
| SFB               | 0,324             | 0,037                  | 0,001        | 0,002               | 0,815  | 0,068 | 0,931              |
| SMR               | 0,071             | 0,032                  | 0,004        | 0,002               | 0,258  | 0,317 | 0,159              |

Para os dados normais, as tabelas 19, 20 e 21 apresentam os resultados da homocedasticidade dos dados, a variação (ANOVA) e a comparação entre grupos (Tukey).

**Tabela 19.** Teste da homocedasticidade dos dados.

| Teste / Variável | Temperatura do ar | Amônia | PM10  | Dióxido de carbono |
|------------------|-------------------|--------|-------|--------------------|
| Levene           | 0,074             | 0,009  | 0,009 | 0,002              |

**Tabela 20.** Teste variação dos dados.

| Teste / Variável | Temperatura do ar | Amônia | PM10  | Dióxido de carbono |
|------------------|-------------------|--------|-------|--------------------|
| ANOVA            | 1,263             | 0,654  | 0,524 | 1,874              |

**Tabela 21.** Comparação entre grupos (Tukey).

| Variável / Grupos  | Grupo1 | Grupo2 | P valor |
|--------------------|--------|--------|---------|
| Temperatura do ar  | SFA    | SFB    | 0,001   |
|                    | SFA    | SMR    | 0,001   |
|                    | SFB    | SMR    | 0,310   |
| Amônia             | SFA    | SFB    | 0,368   |
|                    | SFA    | SMR    | 0,001   |
|                    | SFB    | SMR    | 0,001   |
| PM10               | SFA    | SFB    | 0,700   |
|                    | SFA    | SMR    | 0,012   |
|                    | SFB    | SMR    | 0,001   |
| Dióxido de carbono | SFA    | SFB    | 0,001   |
|                    | SFA    | SMR    | 0,001   |
|                    | SFB    | SMR    | 0,001   |

Para os dados que não seguem distribuição normal, as tabelas 22 e 23 apresentam os resultados da homocedasticidade dos dados (Fligner-Killen) e a comparação entre grupos (Conover).

**Tabela 22.** Teste da homocedasticidade dos dados.

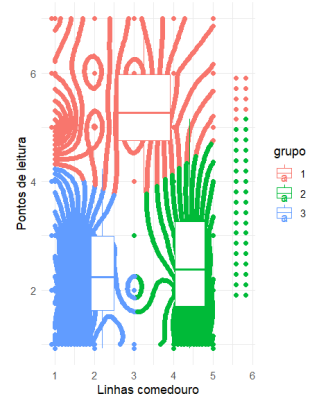
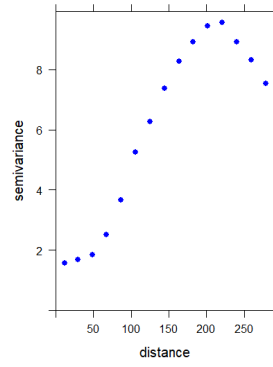
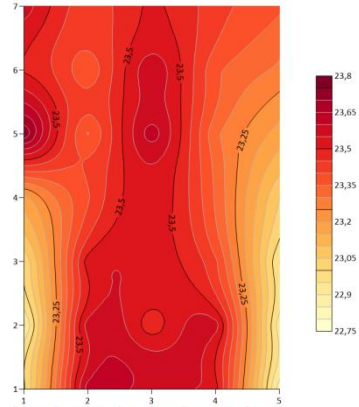
| Teste / Variável | Umidade relativa do ar | Luminosidade | Monóxido de Carbono |
|------------------|------------------------|--------------|---------------------|
| Fligner-Killen   | 0,002                  | 0,005        | 0.0072              |

**Tabela 23.** Comparação entre grupos (Conover).

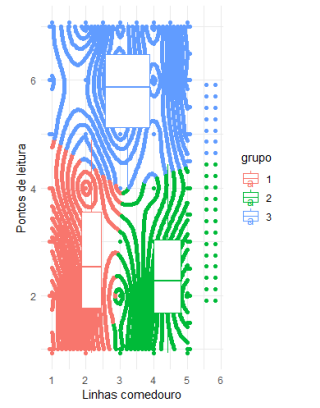
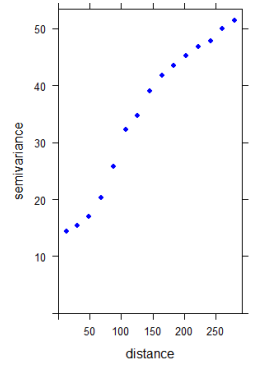
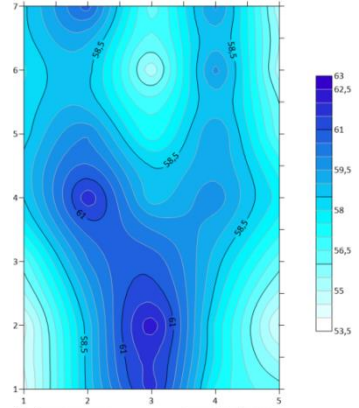
| Variável / Grupos      | Grupo1 | Grupo2 | P valor |
|------------------------|--------|--------|---------|
| Umidade relativa do ar | SFA    | SFB    | 0,001   |
|                        | SFA    | SMR    | 0,001   |
|                        | SFB    | SMR    | 0,007   |
| Luminosidade           | SFA    | SFB    | 0,765   |
|                        | SFA    | SMR    | 0,011   |
|                        | SFB    | SMR    | 0,001   |
| Monóxido de Carbono    | SFA    | SFB    | 0,001   |
|                        | SFA    | SMR    | 0,001   |
|                        | SFB    | SMR    | 0,010   |
| Amônia                 | SFA    | SFB    | 0,001   |
|                        | SFA    | SMR    | 0,001   |
|                        | SFB    | SMR    | 0.368   |

O mapa krigado da temperatura, o mapa de variância, o agrupamento dos dados com o algoritmo K-means e as métricas associadas são apresentadas (Figura 6).

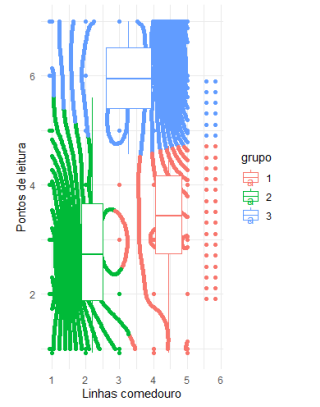
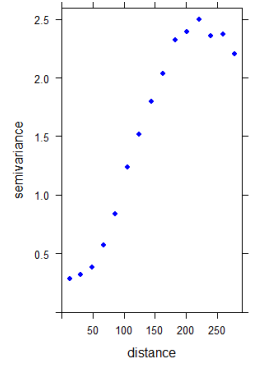
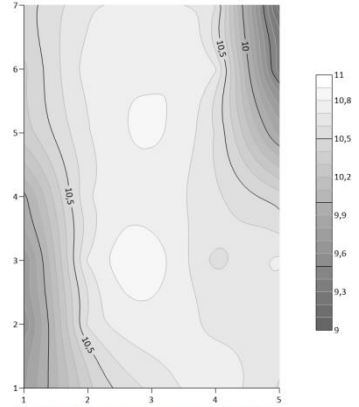
Temperatura do ar



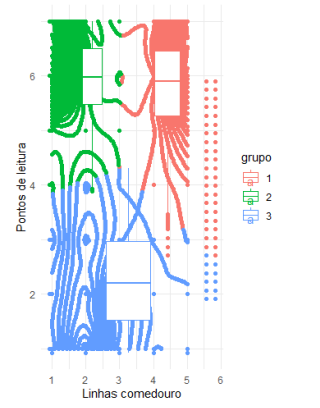
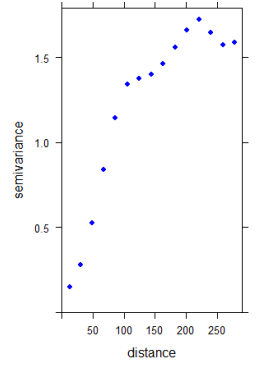
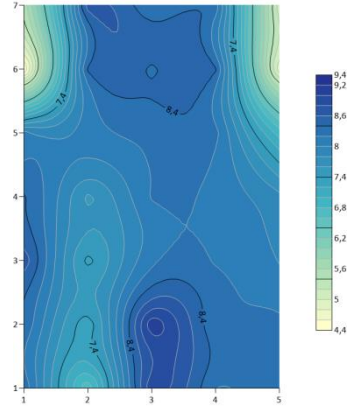
Umidade relativa do ar

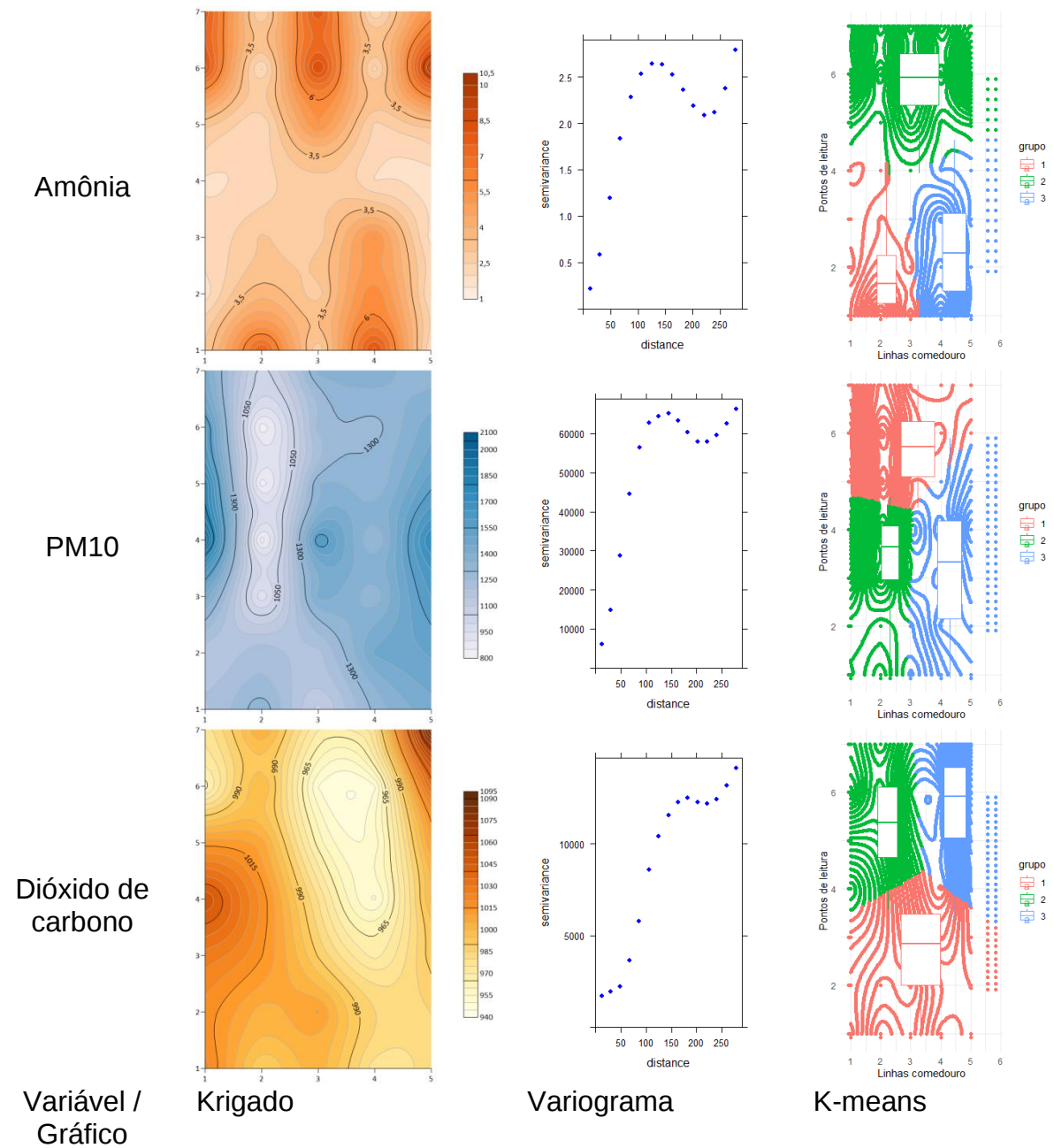


Luminosidade



Monóxido de Carbono





**Figura 6.** Distribuição das temperaturas na primeira partição.

Por fim, as métricas de análise da distribuição dos dados no mapa Krigado são apresentados na Tabela 24.

**Tabela 24.** Métricas da análise da temperatura coletada pelo robô (Sensor Móvel Robo).

| Variável               | MIS   | Alcance         |
|------------------------|-------|-----------------|
| Temperatura do ar      | 0,554 | de 0 até 112,05 |
| Umidade relativa do ar | 0,674 | de 0 até 868,84 |
| Luminosidade           | 0,798 | de 0 até 741,65 |
| Monóxido de Carbono    | 0,641 | de 0 até 87,62  |
| Amônia                 | 0,755 | de 0 até 621,21 |
| PM10                   | 0,698 | de 0 até 787,98 |
| Dióxido de carbono     | 0,687 | de 0 até 768,32 |
| MIS: Moran I statistic |       |                 |

### Conclusões:

- **Temperatura:** As médias da temperatura foram comparadas e os resultados indicaram que há presença de diferença significativa entre SFA/SFB ( $p=0,001$ ) e SFA/SMR ( $p=0,001$ ) mas não há entre SFB/SMR ( $p=0,310$ ). Isso corrobora com estudos de Mascarenhas et al. (2018), Abreu e Abreu (2011) e Sarmento et al (2005) que afirmam que a temperatura nas partições pode variar de acordo com a altura em relação ao solo devido a fatores como a circulação do ar, a presença de fontes de calor, exposição à radiação solar, calor gerado pela cama e os próprios animais, dentre outros. A dispersão dos dados da temperatura do ar apresentou uma autocorrelação positiva (MIS = 0,554), com alcance na dispersão desses dados de até 112,05 e o k-means determinou que as três classes de agrupamento possuíam semelhanças significativas;
- **Luminosidade:** Não houve diferença significativa entre a luminosidade detectada pelo SFA/SFB ( $p=0,765$ ) porém houve entre o SFA/SMR ( $p=0,001$ ) e o SFB/SMR ( $p=0,001$ ). A dispersão dos dados da luminosidade apresentou uma autocorrelação positiva (MIS = 0,798), com alcance na dispersão desses dados de até 741,65 e o k-means determinou que as três classes de agrupamento possuíam semelhanças significativas;
- **Amônia:** Os níveis de amônia apresentaram diferença significativa entre SFA/SFB ( $p=0,030$ ) e SFA/SMR ( $p=0,001$ ). Ou seja, há diferenças entre o sensor que está a 2m da cama em relação ao sensor que está a 30cm e o sensor do robô, contudo, não há diferença entre o sensor que está a 30cm do solo (SFB) e o sensor do robô (SMR) ( $p=0.368$ ). A dispersão dos dados da

amônia apresentou uma autocorrelação positiva ( $MIS = 0,755$ ), com alcance na dispersão desses dados de até 621,21 e o k-means determinou que as três classes de agrupamento possuíam semelhanças significativas;

- **Dióxido de carbono:** Houve diferença significativa entre todos os sensores para o Dióxido de Carbono. Há diferenças do sensor do robô (SMR) em relação ao fixo a 30cm da cama (SFB) ( $p=0,001$ ), entre o sensor do robô e o do sensor a 2m da cama (SFA) ( $p=0,001$ ) e também entre os dois sensores fixos (SFA/SFB,  $p=0,001$ ). A dispersão dos dados de dióxido de carbono apresentou uma autocorrelação positiva ( $MIS = 0,687$ ), com alcance na dispersão desses dados de até 768,32 e o k-means determinou que as três classes de agrupamento possuíam semelhanças significativas;
- **Umidade relativa:** A umidade relativa apresentou diferenças significativas entre todos os sensores, ou seja, há diferenças entre as médias das leituras da umidade para os três sensores indicando haver uma variação muito grande da umidade na comparação das médias das leituras nos três sensores. A dispersão dos dados da umidade relativa do ar apresentou uma autocorrelação positiva ( $MIS = 0,674$ ), com alcance na dispersão desses dados de até 868,44 e o k-means determinou que as três classes de agrupamento possuíam semelhanças significativas;
- **Poeira (PM10):** O nível de poeira PM10 apresentou diferença significativa entre os sensores SFA/SMR ( $p=0,012$ ) e SFB/SMR ( $p=0,001$ ) mas não apresentou entre os sensores SFA/SFB ( $p=0,700$ ). A dispersão dos dados da poeira PM10 apresentou uma autocorrelação positiva ( $MIS = 0,698$ ), com alcance na dispersão desses dados de até 787,98 e o k-means determinou que as três classes de agrupamento possuíam semelhanças significativas; e
- **Monóxido de carbono:** O monóxido de carbono apresentou diferenças significativas das leituras das médias em todos os sensores indicando haver uma variabilidade da quantidade do gás na comparação entre os três sensores. A dispersão dos dados do monóxido de carbono apresentou uma autocorrelação positiva ( $MIS = 0,641$ ), com alcance na dispersão desses dados de até 87,62 e o k-means determinou que as três classes de agrupamento possuíam semelhanças significativas