

UNIVERSIDADE PAULISTA - UNIP
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE BAIXO
CUSTO PARA O MONITORAMENTO DA
TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR
NO TRANSPORTE DE CARGAS VIVAS**

JONATAS SANTOS DE SOUZA

SÃO PAULO

2024

UNIVERSIDADE PAULISTA - UNIP
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE BAIXO
CUSTO PARA O MONITORAMENTO DA
TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR
NO TRANSPORTE DE CARGAS VIVAS**

Tese apresentada ao Programa de Doutorado em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP, para a obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. João Gilberto Mendes dos Reis

Área de Concentração: Gestão de Sistemas de Operação

Linha de Pesquisa: Métodos Quantitativos em Engenharia de Produção

Projeto de Pesquisa: Métodos Quantitativos, Computacionais e Tecnológicos em Engenharia de Produção

JONATAS SANTOS DE SOUZA

SÃO PAULO

2024

Souza, Jonatas Santos de.

Desenvolvimento de um sistema de baixo custo para o monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar no transporte de cargas vivas / Jonatas Santos de Souza. – 2024. 108 f. : il. color. + CD-ROM.

Tese de Doutorado Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista, São Paulo, 2024.

Área de concentração: Gestão de Sistemas de Operação.

Orientador: Prof. Dr. João Gilberto Mendes dos Reis.

1. Pecuária de precisão. 2. Transporte animal. 3. Bem-estar animal. I. Reis, João Gilberto Mendes dos (orientador). II. Título.

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE BAIXO
CUSTO PARA O MONITORAMENTO DA
TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR
NO TRANSPORTE DE CARGAS VIVAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Produção da Universidade Paulista
– UNIP, para Defesa, como requisito para obtenção do
título de Doutor em Engenharia de Produção.

Aprovado em: _____

Banca Examinadora:

Prof. Dr. João Gilberto Mendes dos Reis
Universidade Paulista - UNIP

Prof. Dr. Giancarlo Medeiros Pereira
Universidade Paulista - UNIP

Prof. Dr. Marcelo Tsuguio Okano
Universidade Paulista - UNIP

Prof. Dr. Alexandre Formigoni
Centro Paula Souza - CPS

Prof. Dr. Regis Cortez Bueno
Instituto Federal de São Paulo - IFSP

DEDICATÓRIA

Dedico esta tese ao meu filho, Davi Procopio de Souza, cuja presença e alegria foram a luz que iluminou cada passo desta jornada acadêmica.

Aos meus queridos pais, Nilson Amado de Souza e Gleide Maria Santos de Souza, cujo amor incondicional e sacrifício fizeram possível cada oportunidade que tive. Seus valores e ensinamentos foram alicerce fundamental para minha formação e sucesso. Esta conquista é tanto deles quanto minha.

À minha amada família, cujo encorajamento e compreensão foram pilares essenciais ao longo deste caminho. Seu apoio constante e palavras de incentivo foram o combustível que me impulsionou nos momentos mais desafiadores.

Que este trabalho represente não apenas uma conquista pessoal, mas também uma homenagem a todos os familiares que estiveram ao meu lado, incentivando-me e acreditando em mim, desde o primeiro dia.

AGRADECIMENTOS

É com profunda gratidão que expresso meu reconhecimento a todas as pessoas que contribuíram para a realização desta jornada acadêmica, tornando possível a conclusão desta tese.

Agradeço, em primeiro lugar, a DEUS, fonte de toda sabedoria e inspiração, pela orientação divina que permeou cada passo desta jornada. Sua graça e providência foram a força motriz que sustentou minha fé e determinação nos momentos de desafio. Que Sua luz continue a guiar meu caminho e a iluminar meu coração em todas as etapas que ainda estão por vir.

Aos meus pais, Nilson Amado de Souza e Cleide Maria Santos de Souza, para quem não há palavras que possam expressar adequadamente a minha gratidão pelo amor, apoio e sacrifício que dedicaram a mim ao longo dos anos. Seu incentivo constante e crença em meu potencial foram fundamentais para cada conquista alcançada. Este trabalho é uma homenagem ao exemplo de dedicação e perseverança que eles sempre me proporcionaram.

Ao meu estimado orientador, Prof. Dr. João Gilberto Mendes dos Reis, a quem devo um passivo de gratidão que transcende palavras. Sua orientação sábia, comprometimento incansável e inspiração foram a bússola que guiou meus passos neste processo. Sua expertise e dedicação foram fundamentais para o amadurecimento acadêmico e pessoal que alcancei ao longo deste percurso.

À equipe do grupo de pesquisa RESUP (Acácio Pereira de Macêdo Neto, Gabriel Santos Rodrigues e Paula Ferreira da Cruz Correia) expresso minha mais profunda admiração e agradecimento. A colaboração e a troca de conhecimento proporcionadas por este grupo foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho. Cada discussão, *insight* compartilhado contribuiu significativamente para a qualidade e relevância desta pesquisa.

Agradeço a Amanda Procopio Sales, pela ajuda, paciência e compreensão nos momentos iniciais no ingresso ao doutorado.

Agradeço ao Prof. Dr. Luiz Antônio de Lima, pelas inúmeras conversas que fortaleceram a idealização deste e de outros trabalhos.

À dedicada secretária do programa de pós-graduação, Márcia Nunes, minha sincera gratidão pela eficiência, gentileza e apoio prestados em todos os momentos. Sua ajuda foi fundamental para a superação de desafios burocráticos e organizacionais, permitindo que eu me concentrasse integralmente na minha pesquisa.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista expresso minha sincera admiração e gratidão pelo

compromisso com a excelência acadêmica e pelo incentivo constante ao desenvolvimento de seus alunos. Suas aulas inspiradoras e orientações valiosas foram fundamentais para minha formação como pesquisador.

Por fim, agradeço a todos os amigos, familiares e colegas que, de uma forma ou de outra, contribuíram para esta conquista. Seu apoio moral e encorajamento foram essenciais nos momentos de dificuldade e celebração ao longo desta jornada.

Que este trabalho possa ser uma contribuição ao avanço do conhecimento em nossa área e um reflexo do apoio e da colaboração generosos que recebi ao longo deste percurso.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, entidade à qual agradeço o apoio financeiro.

EPÍGRAFE

*"Toda mudança na forma de usar tecnologia também
requer uma mudança na forma de pensar."*

Tiago Forte

RESUMO

A tecnologia da informação (TI) vem avançando em diversos setores e está cada vez mais presente na agricultura. Atualmente, os estudos estão focados no bem-estar animal e em seu potencial impacto na produtividade. O termo utilizado para descrever a implementação tecnológica na produção animal é “Zootecnia de Precisão”. O uso de sensores de temperatura ambiental e de umidade relativa permite mensurar o conforto térmico dos animais e possibilita ao gestor tomar decisões de correção, garantindo assim o seu bem-estar nas fazendas. Apesar desses avanços, durante o transporte, principalmente de longas distâncias, os caminhões carecem de dispositivos para medir o conforto térmico dos animais e alertar o motorista de problemas com a carga viva, o que gera perdas econômicas, incluindo a perda de peso e danos à carcaça devido a lesões. Além disso, os altos custos das soluções tecnológicas têm inviabilizado a implantação de sistemas de monitoramento durante o transporte, uma vez que o lucro por quilograma vendido é relativamente baixo. Desse modo, o objetivo desta tese é desenvolver uma solução de baixo custo com Arduino que possa medir a temperatura ambiente e a umidade relativa do ar para auxiliar no conforto térmico dos animais durante o transporte de longas distâncias, uma vez que permitirá ao operador receber informações em tempo real para tomar ações de mitigação.

Palavras-chave: Arduino; Transporte Animal; Bem-Estar Animal; Zootecnia de Precisão.

ABSTRACT

Information technology (IT) has been advancing across various sectors and is increasingly present in agriculture. Currently, studies are focused on animal welfare and its potential impact on productivity. The term used to describe the technological implementation in animal production is "Precision Zootechnics." The use of environmental temperature and relative humidity sensors allows for the measurement of animals' thermal comfort, enabling managers to make corrective decisions, thereby ensuring their well-being on farms. Despite these advances, during transport, especially over long distances, trucks lack devices to measure the animals' thermal comfort and alert the driver to issues with the live cargo, leading to economic losses, including weight loss and carcass damage due to injuries. Additionally, the high costs of technological solutions have hindered the implementation of monitoring systems during transport, as the profit per kilogram sold is relatively low. Therefore, the aim of this thesis is to develop a low-cost solution using Arduino that can measure ambient temperature and relative humidity to assist in the thermal comfort of animals during long-distance transport, as it will allow the operator to receive real-time information to take mitigating actions.

Keywords: Arduino; Animal Transport; Animal Welfare; Precision Animal Science.

UTILIDADE DA TESE

O monitoramento do animal permite melhorar a produção e gerar um maior bem-estar para ele, diminuindo-lhe o desconforto causado por condições de estresse, como fome, sede e dor através da análise das condições ambientais e proposição de medidas corretivas. Entretanto, é difícil repetir o mesmo monitoramento durante o transporte devido à terceirização do serviço, aos altos custos de equipamento para o veículo e ao entendimento de que os custos desse monitoramento e mitigação das perdas por lesões não são compensados pelas receitas geradas por Kg de carcaça vendida. O fato de a maioria dos sistemas de transporte ocorrer a longas distâncias e sob altas temperaturas torna o problema ainda maior. Portanto, a proposição e o desenvolvimento de um sistema de monitoramento do animal durante o transporte economicamente viável permitirá a realização de intervenções que melhorem o estado do bem-estar animal durante a operação. Desse modo, contribui-se para a redução das perdas por confusões ou lesões no animal, para a redução dos níveis de estresse, o que gera melhoria na qualidade da carne e mitigação dos impactos negativos econômicos, proporcionando maior receita aos produtores. Esse trabalho apresenta características que estão associados aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela ONU, tais como ODS 9: Indústria, Inovação e Infraestrutura, e ODS 12: Consumo e Produção Responsáveis. Assim, ele traz inovação e industrialização sustentável, promovendo boas práticas na produção mais responsáveis e sustentáveis, reduzindo o desperdício e as perdas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

1	Sensores e Biomarcadores	21
2	Estrutura da Tese	22
3	Maior produtor e exportador em 2023, Brasil	26
4	Principais países importadores da carne bovina brasileira em toneladas	27
5	Destinos do produto	28
6	Arduino Uno Rev3	31
7	<i>Waterfall Model</i>	32
8	Ciclo do <i>Design Science Research</i>	33
9	Conceitos e fundamentos do DSR	35
10	Arduino Uno R3	38
11	<i>Protoboard</i>	39
12	<i>Jumpers</i>	40
13	Sensor DHT11	41
14	Conversor de Nível Lógico	42
15	Módulo RTC DS3231	42
16	Módulo Cartão SD Card	43
17	<i>Fritzing</i>	44
18	Arduino IDE	45
19	IOCAG 2022	46
20	<i>Conference APMS 2022</i>	53
21	<i>Conference “INDUSTRIAL ENGINEERING 2022”</i>	61

LISTA DE TABELAS

1	Especificações do Arduino Uno R3	39
2	Especificações da <i>Proto</i> board	40
3	Especificações dos <i>Jumpers</i>	40
4	Especificações dos Sensor DHT11	41
5	Especificações do Conversor de Nível Lógico	42
6	Especificações do Módulo RTC DS3231	43
7	Especificações do Módulo Cartão SD <i>Card</i>	44
8	Custo do Artefato	96
9	Estudos selecionados que usam TICs	98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS Acrilonitrila Butadieno Estireno

AC *Alternating Current*

AHAW *Animal Health and Welfare*

Arduino IDE *Arduino Integrated Development Environment*

APMS *Advances in Production Management Systems*

CAPES Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CEPEA Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada

COMEXSTAT Sistema oficial para extração das estatísticas do comércio exterior brasileiro de bens

CS *Chip Select*

CSV *Comma-Separated Values*

DC Direct Current

DHT11 Digital Humidity and Temperature 11

DSR *Design Science Research*

EEPROM *Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*

EFSA *European Food Safety Authority*

EU União Europeia

EUA Estados Unidos da América

FAT *File Allocation Table*

FAWC *Farm Animal Welfare Committee*

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFIP *International Federation of Information Processing*

IOCAG *International Online Conference on Agriculture*

IOE *International Office of Epizootics*

IoT *Internet of Things*

IMEA Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária

I2C *Inter-Integrated Circuit*

KTU *Kaunas University of Technology*

MAPA Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MDIC Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços

MISO *Master In Slave Out*

MOSI *Master Out Slave In*

ODS Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU Organização das Nações Unidas

PWM *Pulse Width Modulation*

RAM *Random Access Memory*

RTC *Real-Time Clock*

RTEC Relatório Técnico Conclusivo

SCK *Serial Clock*

SD *Secure Digital*

SPI *Serial Peripheral Interface*

SRAM *Static Random-Access Memory*

TIC Tecnologia de Informação e Comunicação

UNIP Universidade Paulista

UR Umidade Relativa do ar

WOAH *World Organisation for Animal Health*

LISTA DE SÍMBOLOS

°C graus Celsius

kB kilobyte

MHz megahertz

μA microampère

mA miliampère

mm milímetro

nA nanoampère

% Porcentagem

R\$ Real

V *Volts*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Justificativa	20
1.2	Objetivo Geral	22
1.2.1	Objetivos Específicos	22
1.3	Organização da Tese	22
2	REFERENCIAL TEÓRICO	24
2.1	O bem-estar animal	24
2.1.1	Estresse do Animal	24
2.2	Produção Animal	25
2.3	Transporte de animais	28
2.4	Telemetria	30
2.5	Arduino	30
3	METODOLOGIA	32
3.1	<i>Design Science Research</i>	33
3.2	Pesquisa Exploratória	35
3.3	Metodologias Utilizadas nos Artigos	36
3.3.1	Metodologia do Artigo 1 - IOCAG	36
3.3.2	Metodologia do Artigo 2 - APMS	36
3.3.3	Metodologia do Artigo 3 - KTU	37
3.3.4	Metodologia do Relatório Técnico Conclusivo - RTEC	37
4	DESENVOLVIMENTO	38
4.1	Equipamentos	38
4.2	Ambiente de Desenvolvimento	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
5.1	Artigo 1 - IOCAG	46
5.2	Artigo 2 - APMS	53
5.3	Artigo 3 - KTU	61
5.4	Relatório Técnico Conclusivo - RTEC	69
5.5	Custo do Artefato	96
5.6	Discussões	96

6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	99
6.1	Sugestões de Trabalhos Futuros	100

1 INTRODUÇÃO

As cadeias de produção de alimentos têm características únicas que tornam suas operações de movimentação e transporte complexas. Ao mesmo tempo, essas cadeias apresentam encargos de valores não rentáveis para seus atores, que principalmente à sua jusante - da fazenda à agroindústria - inviabilizam muitas vezes investimentos no setor (Becker, 2010; Silva *et al.*, 2019).

A complexidade do transporte reside no fato de que as mercadorias precisam ser transportadas vivas entre algumas etapas, em condições de temperatura e umidade inapropriadas para o transporte (EFSA AHAW Panel *et al.*, 2020). Se frutas e grãos, por exemplo, requerem um cuidado adicional para evitar o amadurecimento e consequente apodrecimento da mercadoria, as cadeias de produção de proteína animal têm um complicador ainda maior no que tange à condição do animal como ser vivo.

A proteína presente nos animais é importante para a vida humana; porém, os animais frequentemente enfrentam condições degradantes, tanto no processo produtivo (EFSA AHAW Panel *et al.*, 2020) quanto no transporte. Além disso, há uma crescente pressão sobre os produtores para atender a esses requisitos de mercado, que eles enxergam como encargos não devidamente remunerados pelos seus clientes.

O fato é que o bem-estar animal é um assunto que, cada vez mais, faz parte do processo produtivo de proteína animal e não só do ambiente doméstico. O mesmo bem-estar está associado ao conforto que o indivíduo sente em relação ao ambiente que o cerca e a seu comportamento harmonioso com o mesmo (Machado; Santos, 2018). Assim, o bem-estar animal se relaciona ao estresse, à saúde e às necessidades fisiológicas e psicológicas do animal (Broom, 1991; Machado; Santos, 2018; Broom, 2019).

O estresse sentido pelo animal durante o transporte pode reduzir a eficiência alimentar, diminuir o ganho de peso e afetar negativamente a qualidade dos produtos animais, como carne, leite ou ovos (Ludtke *et al.*, 2012; Boreli, 2024).

Um dos principais fatores a serem analisados no transporte é a ambiência em que o animal está inserido e a interação no ambiente com seus semelhantes (Dawkins, 1998). Portanto, essa ambiência apresenta variáveis que podem ser controladas e que influenciam positivamente ou não na produção (Machado; Santos, 2018).

Esse controle é feito pela Pecuária de Precisão, também conhecida como Zootecnia de Precisão (Costa, 2021; Sevegnani, 2023), que faz coletas, aferições e análises de dados de cada animal (Vaintrub *et al.*, 2021). Esses dados são coletados através de sensores em tempo real de forma automática sem interrupções (Bailey *et al.*, 2021).

Por meio do monitoramento, torna-se possível identificar o estado do bem-estar

animal dentro de uma fazenda ou granja (Stephen; Michie; Andonovic, 2013). Porém, para o pecuarista de pequeno porte, ao realizar o transporte do animal para o abatedouro, geralmente não há um sistema que realize a telemetria para monitorar o estado do bem-estar animal, devido aos preços dos equipamentos mais modernos.

Existem também outras variáveis que trazem o desconforto ao animal durante o transporte, tais como temperatura do ambiente, umidade relativa do ar, espaço, balanço do transporte durante o percurso, sede e fome (Silva *et al.*, 2017; Lana *et al.*, 2018; EFSA AHAW Panel *et al.*, 2020; Sousa *et al.*, 2021).

No Brasil, por exemplo, diversos percursos entre granjas ou fazendas até o abatedouro são muito longos e podem gerar um aumento no nível de estresse do animal e desconfortos, como fome, sede, medo, angústia e dores, causados por eventuais lesões durante o percurso (Thodberg *et al.*, 2022).

Com o auxílio do Arduino, entretanto, é possível pensar em uma solução de baixo custo que realize medições de algumas variáveis que podem minimizar o desconforto do animal durante o transporte.

O Arduino é conhecido como uma plataforma de prototipagem; tem como principal propósito facilitar a criação de protótipos com baixo custo e de fácil utilização, tanto para profissionais quanto para iniciantes que não possuem acesso a microcontroladores mais complexos (Souza, 2021; Souza *et al.*, 2022).

Essa plataforma tem se destacado por sua versatilidade e acessibilidade, permitindo que projetos diversos sejam desenvolvidos e implementados de maneira eficiente e econômica (McRoberts, 2010; Geddes, 2016). Com uma ampla gama de placas e módulos disponíveis, o Arduino oferece uma abordagem prática e intuitiva para o desenvolvimento de sistemas eletrônicos, promovendo a inovação e o acesso à tecnologia (Calvo; Alejos, 2010).

1.1 Justificativa

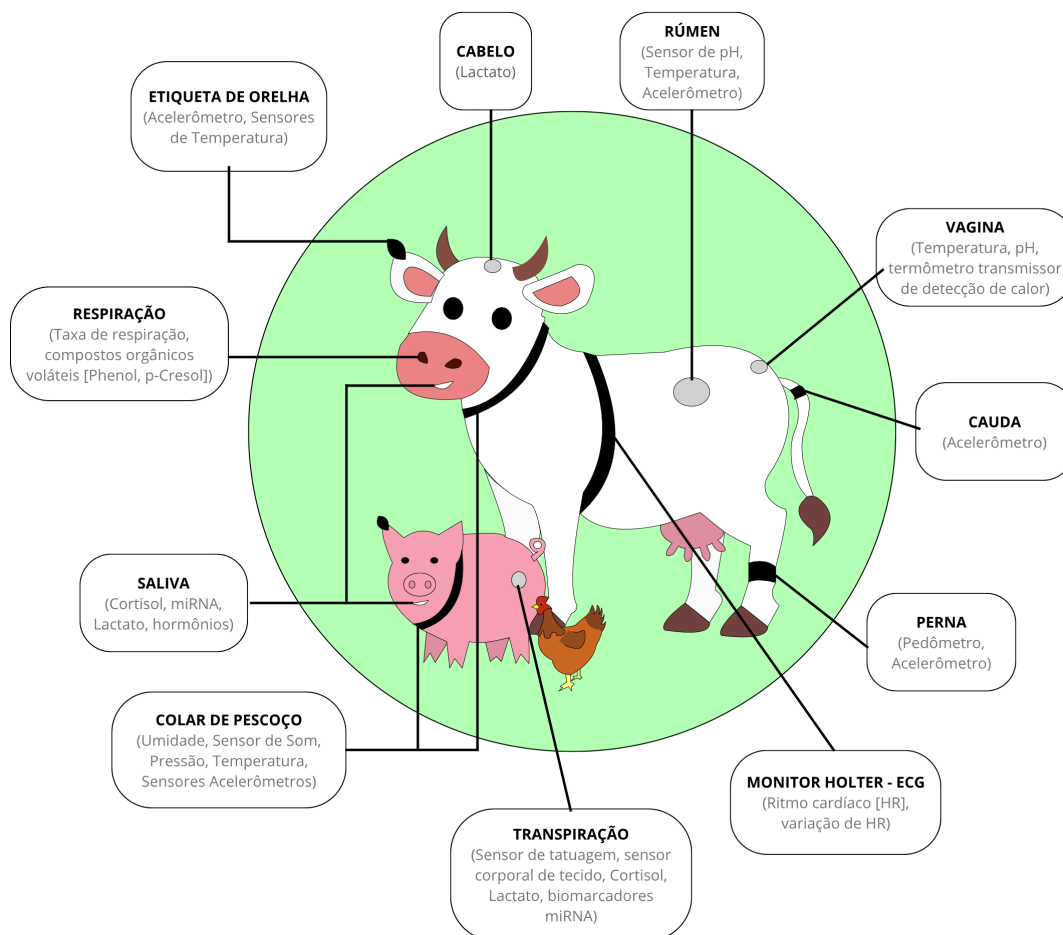
Diversos estudos discutem sobre o bem-estar animal em transporte em longas distâncias e como isso afeta a produção e a qualidade da carne devido a um alto nível de estresse do animal durante o percurso longo (González *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2017; Lana *et al.*, 2018; Sousa *et al.*, 2021). Entretanto, poucas são medidas efetivas para combater o problema, fazendo-se necessária a existência de mais estudos sobre o tema (EFSA AHAW Panel *et al.*, 2020; Lipovšek *et al.*, 2024).

No transporte, o animal passa por diversas situações nas quais ocorrem variações na temperatura e umidade do ambiente, o que influencia na perda ou no ganho de peso ou até na morte do animal (Denadai *et al.*, 2002; Oliveira *et al.*, 2006).

Um dos diversos elementos que causam o desconforto dos animais é o estresse térmico (Machado; Santos, 2018). Para contornar essa situação, Neethirajan

(2020) listou alguns sensores e biomarcadores que são encontrados nas fazendas para coletar informações sobre o bem-estar do animal (Figura 1).

Figura 1: Sensores e Biomarcadores



Fonte: Adaptado (Neethirajan, 2020)

O controle da temperatura e da umidade relativa do ar se torna importante, pois variações que afetam o conforto térmico do animal podem causar em estresse por calor ou frio para os animais, afetando seu comportamento, sua saúde e seu desempenho produtivo (González *et al.*, 2012; EFSA AHAW Panel *et al.*, 2020).

A criação de um sistema de baixo custo utilizando a plataforma Arduino para o monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar surge como uma resposta para auxiliar as condições de conforto do animal. A manutenção de um ambiente adequado é fundamental para o bem-estar e o desempenho dos animais, impactando diretamente na qualidade e na quantidade da produção (Boreli, 2024).

1.2 Objetivo Geral

É o desenvolvimento de um sistema de baixo custo para o monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar no transporte de cargas vivas..

1.2.1 Objetivos Específicos

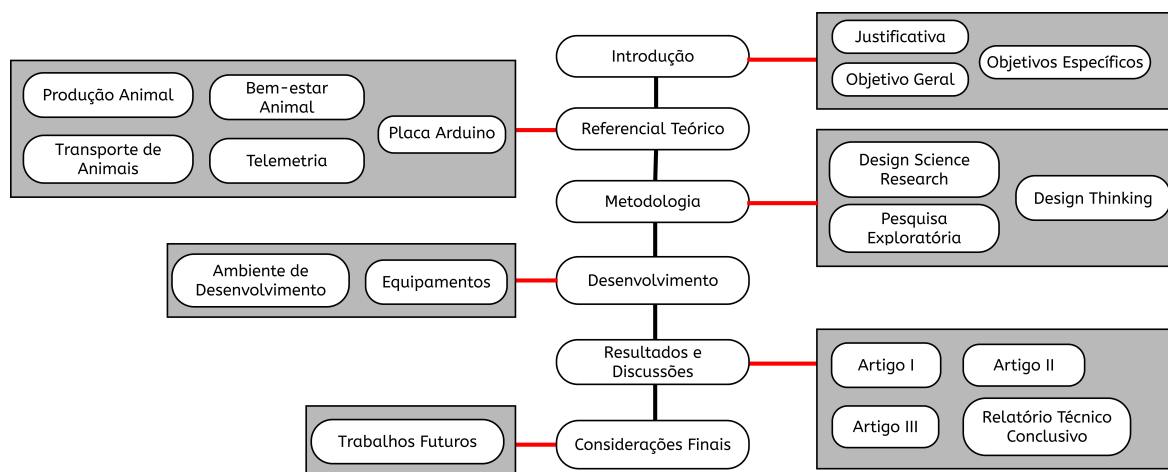
Para alcançar o objetivo geral, definem-se os objetivos específicos para o desenvolvimento do projeto na finalidade de compor a construção da tese.

1. Investigar (identificar) as lacunas da falta de monitoramento do bem-estar animal durante o transporte para o abate;
2. Identificar quais dados podem ser monitorados por meio de sensores;
3. Sugerir ferramentas de fácil acesso e rápida aprendizagem para o modelo proposto;
4. Construir um artefato de baixo custo que utilize sensores para medição.

1.3 Organização da Tese

A tese está dividida em capítulos e subcapítulos em uma sequência lógica para a compreensão e o entendimento do estudo (Figura 2).

Figura 2: Estrutura da Tese



Fonte: Autor

O primeiro capítulo - o da Introdução - apresenta brevemente o contexto da inserção da tecnologia da informação na pecuária. Também traz os conceitos que serão abordados e os objetivos deste trabalho.

O segundo capítulo - o do Referencial Teórico - descreve os conceitos abordados na pesquisa, tais como Produção Animal, Transporte de Animais, Bem-estar Animal, Telemetria e a Placa Arduino.

O terceiro capítulo – o da Metodologia - traz os procedimentos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa e as etapas para o processo de criação do artefato, como alternativa de baixo custo para solucionar o problema apresentado nesse capítulo.

O quarto capítulo - o do Desenvolvimento - apresenta instrumentos escolhidos para a criação do protótipo proposto e traz o ambiente em que foi desenvolvido.

O quinto capítulo - o dos Resultados e Discussões - traz os desfechos obtidos na execução e validação do protótipo proposto e discussões sobre o desenvolvimento da pesquisa.

O sexto capítulo – o das Considerações finais - traz as aferições surgidas após a realização da pesquisa e das sugestões de trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O bem-estar animal

O bem-estar dos animais que são criados com a finalidade de atender o mercado mundial de proteína tem ganhado cada vez mais atenção e preocupação de consumidores, produtores e sociedades de proteção.

O bem-estar está relacionado à saúde física e a condições fisiológicas sentidas pelo animal (IOE, 2023). Broom (1991) descreve que a dificuldade em lidar com problemas causam sentimentos de medo e raiva, geram níveis de estresse que alteram o bem-estar de um indivíduo.

De acordo com o Código Sanitário dos Animais Terrestres da Organização Mundial da Saúde Animal, o bem-estar animal expressa-se no comportamento e nas condições em que ele vive, ou seja, expressa-se no animal bem nutrido, capaz de realizar comportamento inato, saudável, isto é, sem angústia, sem dor e sem medo (FAWC, 2019; IOE, 2023).

Para que o animal esteja em um bom estado de bem-estar, é necessário que o mesmo animal tenha tratamento veterinário para cuidar e prevenir doenças, abrigo apropriado, boa alimentação e um ambiente que lhe traga conforto (Machado; Santos, 2018).

Para que as fazendas possam garantir um bom estado de bem-estar para o animal, utilizam-se ferramentas que possibilitam a medição de variáveis sobre o animal e sobre o ambiente interno (Vaintrub *et al.*, 2021).

2.1.1 Estresse do Animal

No contexto da produção animal, o estresse pode ter vários efeitos negativos, incluindo a imunossupressão, que causa queda na imunidade e propicia o surgimento de doenças (Nederhof; Schmidt, 2012).

De acordo com o dicionário, "*estresse é estado físico e psicológico provocado por agressões que excitam e perturbam emocionalmente o indivíduo, levando o organismo a um nível de tensão e desequilíbrio, em consequência do aumento da secreção de adrenalina*" (Michaelis, 2024).

O estresse em animais é uma resposta tanto fisiológica quanto comportamental que se manifesta quando um indivíduo é submetido a condições adversas ou desafiadoras, que interferem em seu equilíbrio natural (homeostase) (Basile *et al.*, 2021).

Essas situações podem ser de natureza física, incluindo calor excessivo, frio intenso, escassez de alimento ou água e dor, ou podem ser psicológicas, englobando

medo, confinamento e interações sociais prejudiciais (Colditz; Hine, 2016).

Existem alguns fatores que causam o desconforto do animal, quando eles estão expostos a ruídos altos, a confinamento prolongado, a mudanças extremas de temperatura, a aglomeração excessiva de animais e transporte de longa distância (Thodberg *et al.*, 2022).

O animal pode se tornar mais agressivo, apático, agitado ou apresentar comportamentos repetitivos (estereotípias) (Holst, 1998). A frequência cardíaca e a respiração podem aumentar; o sistema imunológico pode ser suprimido, e o metabolismo pode ser alterado, o que afeta a saúde geral do animal (Basile *et al.*, 2021).

Isso potencializa lesões, especialmente em situações de confinamento ou durante o transporte, podendo reduzir o apetite dos animais, levando à perda de peso e à diminuição da eficiência alimentar, o que afeta negativamente a produção (Sevegnani *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2017; Sousa *et al.*, 2021).

2.2 Produção Animal

A produção animal, também conhecida como Zootecnia (Costa, 2021; Sevegnani, 2023), é a atividade responsável pela criação e manejo de animais com o objetivo de obter produtos de origem animal, como carne, leite, ovos e peixes (Delgado *et al.*, 2001; Henchion *et al.*, 2021). Envolve desde a reprodução e a alimentação dos animais até o abate, o processamento e a comercialização dos produtos (Carvalho; Zen, 2017).

A atividade de criação, de cuidado, de abate e de utilização geral de animais, conhecida como pecuária (Steinfeld, 2004; Henchion *et al.*, 2021), é um componente essencial da agricultura contemporânea. Está presente em diversas culturas desde o surgimento da atividade agrícola (Delgado *et al.*, 2001), quando a humanidade deixou de centrar-se nas práticas da caça e da coleta (Thomas, 2010; Leroy; Praet, 2015).

A pecuária mantém sua relevância econômica e cultural em muitas comunidades; em verdade, desempenha um papel crucial (Leroy; Praet, 2015; Carvalho; Zen, 2017). Essa atividade desenvolve uma ação fundamental na cadeia produtiva brasileira, contribuindo para o abastecimento interno e externo, bem como para a geração de emprego e renda no país (Gomes; Feijó; Chiar, 2017).

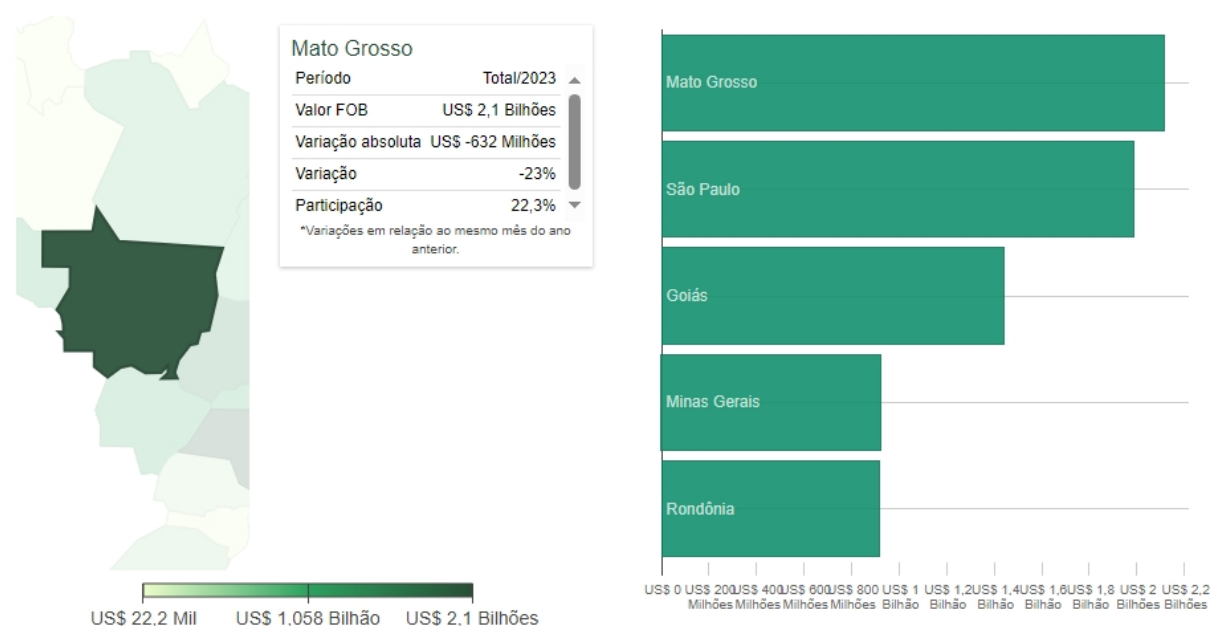
No Brasil, a produção animal está envolvida na criação de diversos tipos de animais, como bovinos, suínos, aves, ovinos e caprinos. Cada um desses segmentos possui características específicas e contribui para atender diferentes demandas do mercado interno e externo (Cezar *et al.*, 2005; Delgado *et al.*, 2001; Machado; Santos, 2018).

A pecuária no Brasil é principalmente caracterizada como extensiva, envolvendo a ocupação de vastas extensões de terra (Cezar *et al.*, 2005). Isso se deve

tanto à abundância de terras disponíveis, quanto às estratégias dos grandes proprietários para manter suas propriedades produtivas e evitar sua destinação para a Reforma Agrária. Apesar disso, observa-se um crescimento da pecuária intensiva no país, especialmente ligada a agroindústrias voltadas para a produção de leite e carne (Delgado, 2003).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Brasil possui 234.352.649 cabeças no rebanho de bovinos entre bois e vacas (IBGE, 2024), tendo como maior produtor e exportador em 2023 o Estado do Mato Grosso (Figura 3).

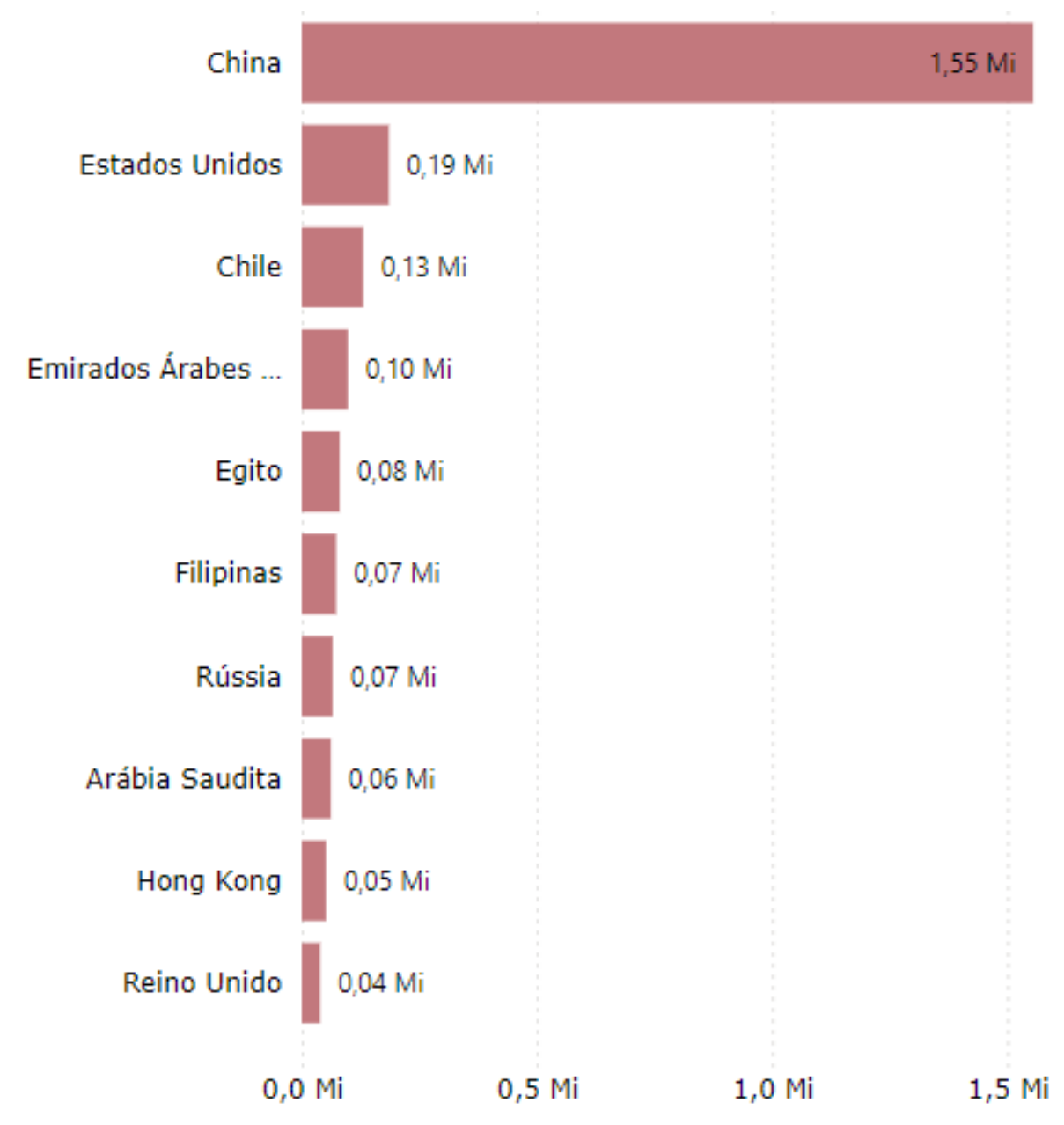
Figura 3: Maior produtor e exportador em 2023, Brasil



Fonte: (COMEXSTAT, 2024)

Em 2023, o setor do agronegócio brasileiro obteve um faturamento de USD de 188 bilhões, em relação aos produtos mais exportados: 40% da soja e seus derivados, 14% da carne bovina, da suína e de frango e 10% de produtos florestais, com 36% indo para a China, 16% para a União Europeia (EU) e 5,6% para os Estados Unidos da América (EUA) (CEPEA, 2024). A China é o principal importador da carne bovina brasileira; os Estados Unidos são o segundo; o Chile é o terceiro (Figura 4).

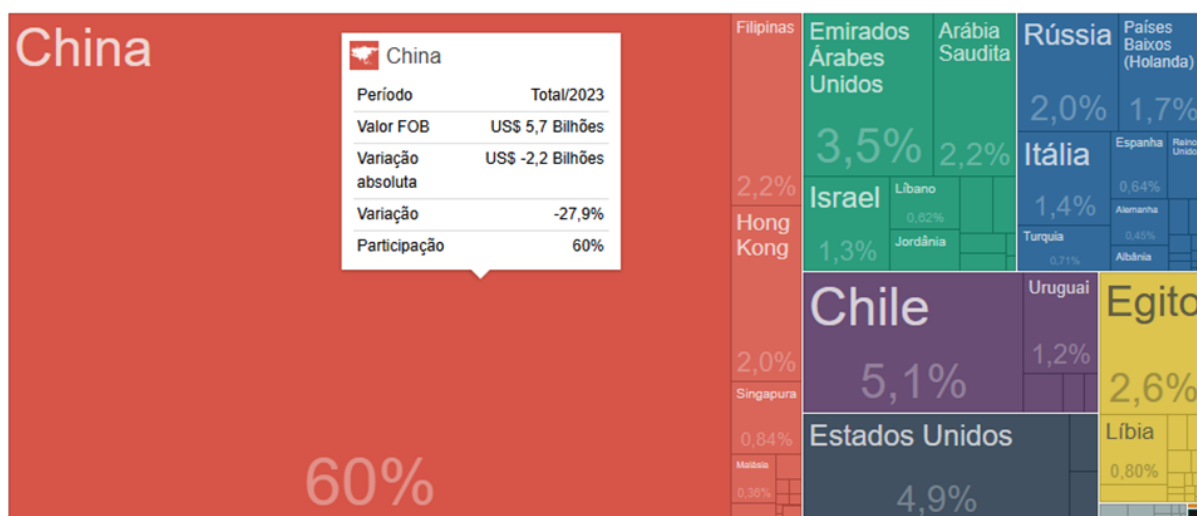
Figura 4: Principais países importadores da carne bovina brasileira em toneladas



Fonte: (IMEA, 2024)

Conforme as estatísticas de Comércio Exterior do Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (COMEXSTAT – MDIC), 60% dos produtos de carne bovina fresca, refrigerada ou congelada foram exportados para a China (Figura 5), o que a estabelece como um grande parceiro comercial (COMEXSTAT, 2024).

Figura 5: Destinos do produto



Fonte: (COMEXSTAT, 2024)

As exportações brasileiras de carne bovina atingiram 2.005.880 milhões de toneladas em 2023, um aumento de 0,7% em relação ao ano anterior. Nesse mesmo período, o faturamento caiu 19,6% se comparado ao de 2022 (COMEXSTAT, 2024).

2.3 Transporte de animais

Um dos desafios fundamentais é determinar a rota mais adequada para o transporte. Isso pode envolver a coordenação de voos, de rotas terrestres ou até mesmo de embarcações marítimas, dependendo do tipo de animal a ser transportado e das distâncias envolvidas (González *et al.*, 2012). É essencial considerar fatores, como tempo de viagem, regulamentações nacionais e internacionais, disponibilidade de recursos e as necessidades específicas de cada espécie (FAWC, 2019; IOE, 2023).

Um dos principais desafios enfrentados ao se transportar animais é garantir sua segurança e bem-estar durante a viagem. Muitas vezes, precisam ser transportados por longas distâncias, o que envolve viagens internacionais que exigem um planejamento (González *et al.*, 2012).

Uma das considerações importantes no transporte de animais é fornecer as condições adequadas para seu conforto e saúde (FAWC, 2019; IOE, 2023). O fato inclui a utilização de caixas ou gaiolas específicas, adaptadas às necessidades individuais de cada espécie. Além disso, é essencial garantir que haja ventilação adequada, temperatura controlada e espaço suficiente para que os animais possam se mover durante a viagem (FAWC, 2019; IOE, 2023).

Outro aspecto fundamental é a alimentação durante o transporte. Cada espécie possui uma dieta específica e é essencial fornecer alimentos adequados para garantir

sua nutrição durante a viagem (FAWC, 2019).

O manejo dos animais também desempenha um papel crucial no transporte. Profissionais treinados devem garantir que os animais sejam manuseados com cuidado, minimizando o estresse e o risco de lesões durante o processo (MAPA, 2013).

Para garantir a conformidade com as regulamentações nacionais e internacionais, é necessário emitir certificados sanitários adequados, autorizações alfandegárias e outros documentos necessários para o transporte legal dos animais (MAPA, 2013). Além disso, é importante manter registros precisos ao longo do processo para rastreabilidade e prestação de contas (Nassar; Sampaio; Vieira, 2015).

Os avanços tecnológicos também estão desempenhando um papel cada vez mais importante na logística do transporte animal (Santos; Scapussim, 2023). Uma das formas mais visíveis de tecnologia no transporte de animais é o monitoramento por GPS.

Esses dispositivos permitem rastrear precisamente a localização do veículo em tempo real, fornecendo informações importantes sobre a rota e o progresso da viagem. Isso pode garantir que os prazos sejam cumpridos e permitir uma resposta rápida em caso de qualquer problema ou emergência (Nassar; Sampaio; Vieira, 2015).

O uso de câmeras também tem se tornado comum no transporte animal. Elas podem ser instaladas dentro do veículo para permitir o monitoramento visual dos animais em tempo real (Nassar; Sampaio; Vieira, 2015). Com isso, os profissionais podem verificar seu comportamento, identificar sinais de estresse ou doença e tomar medidas adequadas para garantir o bem-estar dos animais.

No Brasil, o transporte de animais vivos deve seguir as seguintes diretrizes (MAPA, 2023):

1. Espaço adaptado.
2. Visibilidade.
3. Sistema de ventilação.
4. Piso adequado.
5. Proteção contra fugas.
6. Travas de segurança.
7. Identificação e número de emergência.
8. Certificação.

2.4 Telemetria

Com o avanço da Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC), as fazendas fazem o uso da telemetria para realizar medições do ambiente interno e do animal (Peterson *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2019; Fonseca *et al.*, 2020).

A telemetria possibilita a medição do ambiente por meio de sensores que fazem a leitura em tempo real sobre umidade relativa do ar, temperatura do ambiente, temperatura da água e reconhecimento de nível de estresse mediante o som emitido pelo animal (Stephen; Michie; Andonovic, 2013; Neethirajan, 2020).

Essa inserção da telemetria no setor pecuário é conhecida como Pecuária de Precisão (Sevegnani *et al.*, 2005), ou Zootecnia de Precisão (Pandorfi; Almeida; Guiselini, 2012), que faz o uso de recursos tecnológicos para avaliar e acompanhar de maneira mais precisa as condições das áreas de atividades de produção animal, mensuração e análise de dados de cada animal (Vaintrub *et al.*, 2021).

A Pecuária de Precisão apresenta objetivos semelhantes aos da Agricultura de Precisão (Pierce; Nowak, 1999), que consiste em acompanhar os avanços tecnológicos para automatizar a produção animal, podendo auxiliar no aumento da produção, na economia de água e energia, na redução dos custos e desperdício e na detecção de pragas e cuidados com a saúde do animal (Pandorfi; Almeida; Guiselini, 2012).

Segundo Dawkins (1998), medir o bem-estar animal não é uma tarefa fácil, e ressalta que é complexo devido às diversas variáveis que podem ser apresentadas durante a medição. Dawkins (1998), porém, destaca algumas atividades que podem ser observadas para análise e mensuração do bem-estar animal. São elas:

1. Comportamento Natural do Animal.
2. Adequação e Longevidade.
3. Estresse e Sintomas Fisiológicos.

Ao observar essas atividades, é possível realizar testes para gerar indicadores de comportamento (Dawkins, 1998), como, por exemplo, cortar o fornecimento de água por um período longo, analisar o comportamento e medir a temperatura corporal e o som emitido pelo animal. Dessa forma, consegue-se uma melhor análise para mensurar o estado do bem-estar animal.

2.5 Arduino

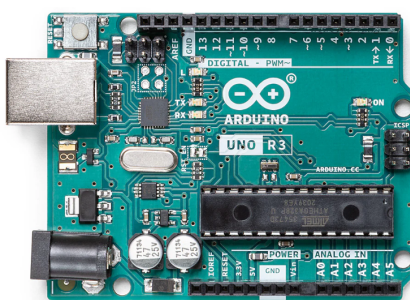
O Arduino é uma ferramenta poderosa que permite a criação de dispositivos inteligentes, desde projetos simples até soluções mais complexas. Com ele, é possível desenvolver projetos de baixo custo (Calvo; Alejos, 2010; Geddes, 2016).

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica, composta por uma placa de circuito impresso contendo um microcontrolador e um ambiente de desenvolvimento. Ele foi criado na Itália, em 2005, por estudantes do *Interaction Design Institute* e tem se tornado cada vez mais popular no mundo todo (Calvo; Alejos, 2010).

O objetivo principal do Arduino é facilitar o processo de criação de projetos eletrônicos, permitindo que pessoas com ou sem experiência em programação e eletrônica desenvolvam suas próprias ideias e soluções (Ali *et al.*, 2016). Com sua interface intuitiva e recursos versáteis, o Arduino tornou-se uma ferramenta acessível para entusiastas, artistas e profissionais da área (Lockridge *et al.*, 2016).

A placa do Arduino contém pinos que podem ser conectados a diversos componentes eletrônicos, como sensores, motores e *displays* (Figura 6). Esses componentes podem ser programados para realizar diferentes tarefas e interagir com o ambiente ao seu redor. Dessa forma, é possível criar desde simples projetos interativos até sistemas complexos.

Figura 6: Arduino Uno Rev3



Fonte: (Arduino, 2024)

O nome Arduino foi escolhido em homenagem a um bar localizado em Ivrea, onde os criadores costumavam se encontrar durante o desenvolvimento do projeto. A ideia era que o Arduino fosse como esse bar - um lugar onde as pessoas pudessem se reunir para compartilhar conhecimento e criar coisas novas (Calvo; Alejos, 2010).

Com a crescente popularidade do Arduino, surgiram diferentes versões e modelos da placa para atender as necessidades específicas dos usuários. Essa diversidade contribuiu ainda mais para a expansão da plataforma (McRoberts, 2010; Geddes, 2016).

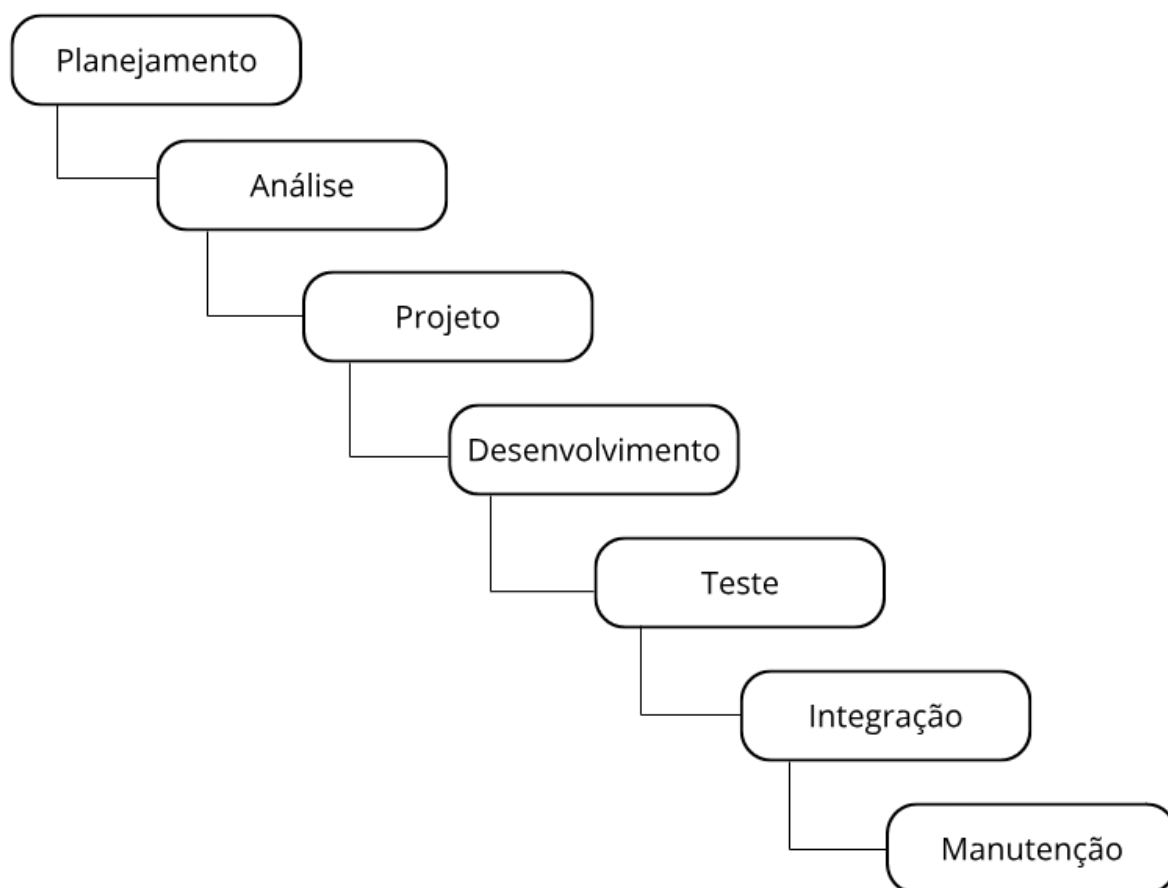
Na atualidade, o Arduino é amplamente utilizado em projetos nas áreas de robótica (Oliveira, 2024), automação residencial (Junior *et al.*, 2024), *Internet of Things* (IoT) (Sarah *et al.*, 2020) e em outras áreas. A comunidade do Arduino continua a crescer, impulsionada por pessoas interessadas em eletrônica, programação e inovação.

3 METODOLOGIA

Este trabalho está estruturado no formato de tese baseada em artigos. Como metodologia principal utilizou-se *Design Science Research* (Venable; Pries-Heje; Baskerville, 2016; Vaishnavi; Kuechler, 2021) com o auxílio do método de *Design Thinking* (Li; Chen; Fu, 2024) para construção do artefato e auxílio da Pesquisa Exploratória (Tozoni-Reis, 2009) para o desenvolvimento do referencial teórico.

Para atender o objetivo geral dessa tese, optou-se pela DSR devido à semelhança entre o modelo de desenvolvimento de *software* em Cascata (*Waterfall Model*) (Figura 7) (Madih et al., 2024) e as etapas do processo (Vaishnavi; Kuechler, 2021).

Figura 7: *Waterfall Model*



Fonte: Adaptado (Madih et al., 2024)

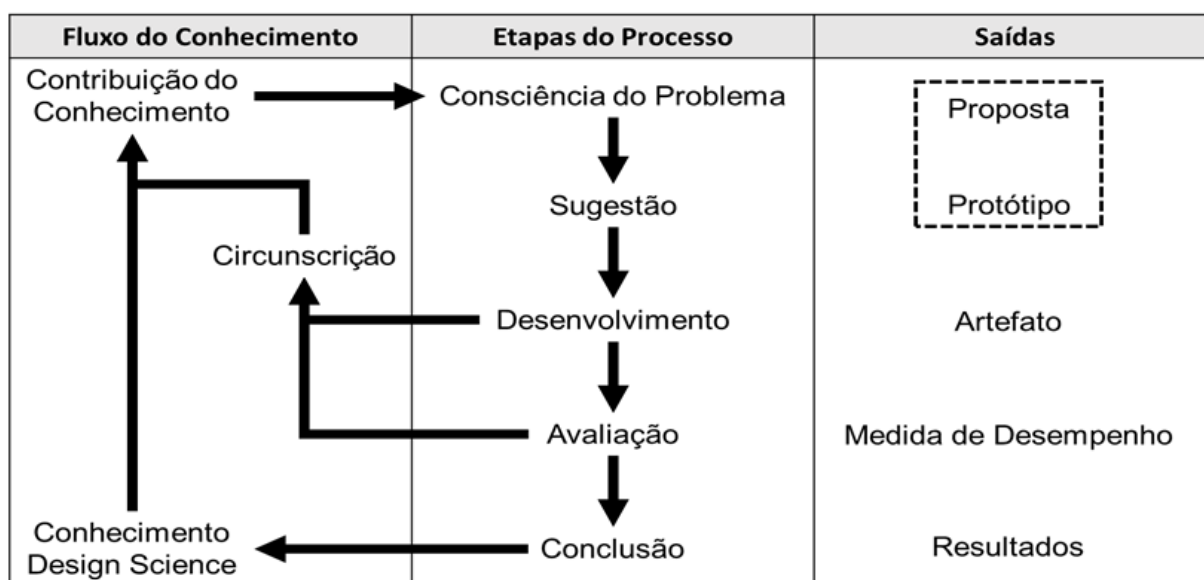
3.1 Design Science Research

A metodologia de pesquisa *Design Science Research* (DSR) tem ganhado destaque como uma abordagem inovadora e eficaz para a geração de conhecimento científico aplicado (Brocke; Hevner; Maedche, 2020).

Dresch, Lacerda e Junior (2015) apresentaram uma visão abrangente sobre os conceitos fundamentais do DSR, destacando a relevância e a aplicabilidade em diversos campos do conhecimento.

A tese seguiu as etapas do processo (Figura 8); e em cada etapa gerou uma saída, que possibilitou o atendimento dos objetivos específicos.

Figura 8: Ciclo do *Design Science Research*



Fonte: Adaptado (Vaishnavi; Kuechler, 2021)

O DSR é um paradigma científico que busca unir teoria e prática na resolução de problemas. Diferentemente das ciências naturais e sociais, a metodologia foca no estudo do artificial, ou seja, naquilo que é criado pelo ser humano para intervir no mundo e melhorar determinadas situações (Brocke; Hevner; Maedche, 2020; Vaishnavi; Kuechler, 2021).

Dresch, Lacerda e Junior (2015) enfatizaram que o DSR não compete com as ciências tradicionais. Ele as complementa, permitindo a geração de soluções inovadoras e a aplicação prática do conhecimento científico.

Com o foco no estudo do artificial, o DSR apresenta o conceito de artefato, que é qualquer objeto feito pelo ser humano que serve como uma interface entre o ambiente interno (mecanismos de funcionamento) e o externo (contexto de aplicação). O objetivo de um artefato é alcançar resultados específicos em um determinado contexto (Venable; Pries-Heje; Baskerville, 2016; Pimentel; Filippo; Santos, 2020).

Uma das premissas do DSR é a busca por soluções satisfatórias em vez de soluções ótimas. [Dresch, Lacerda e Junior \(2015\)](#) argumentam que uma solução ótima pode não ser viável ou aplicável na prática, devido a restrições como custo ou particularidades do ambiente. Portanto, o DSR visa a encontrar soluções que sejam boas o suficiente para resolver o problema em questão, considerando as limitações, os recursos disponíveis.

A validade pragmática é outro conceito importante no DSR, e se refere à utilidade prática da solução proposta. Isso envolve considerar o custo-benefício e as particularidades do ambiente em que a solução será aplicada ([Pimentel; Filippo; Santos, 2020](#); [Vaishnavi; Kuechler, 2021](#)). Além disso, [Dresch, Lacerda e Junior \(2015\)](#) destacam a importância da classe de problemas, o que permite generalizar o conhecimento gerado para um conjunto de problemas similares, ampliando o impacto e a aplicabilidade das soluções desenvolvidas.

Para operacionalizar o DSR, é necessário seguir um método de trabalho que direcione a pesquisa. [Dresch, Lacerda e Junior \(2015\)](#) enfatizam que se torna necessário definir com clareza as razões para realizar a pesquisa, o estabelecimento de objetivos, a escolha de métodos científicos, as técnicas de coleta e de análise de dados e a garantia de resultados. Esse processo metodológico é crucial para manter o rigor científico e a relevância (Figura 9).

Figura 9: Conceitos e fundamentos do DSR



Fonte: Adaptado ([Dresch; Lacerda; Junior, 2015](#))

Existem diferentes tipos de artefatos que podem ser desenvolvidos no âmbito do DSR. [Dresch, Lacerda e Junior \(2015\)](#) mencionam construtos (novos conceitos), modelos (representações da realidade), métodos (descrição para atingir um resultado), instâncias (aplicação de métodos em contextos reais) e design proposições (regras tecnológicas). Cada tipo de artefato tem seu papel na geração de conhecimento e na aplicação prática das soluções desenvolvidas.

O método de pesquisa DSR representa uma abordagem valiosa para a geração de soluções práticas e teóricas para problemas complexos. Ao focar na criação de artefatos e na busca de soluções satisfatórias, o DSR se estabelece como um paradigma científico capaz de promover inovação e aplicabilidade no mundo real ([Dresch; Lacerda; Junior, 2015](#)).

3.2 Pesquisa Exploratória

Para cumprir o objetivo da Pesquisa Exploratória ([Tozoni-Reis, 2009](#)), buscou-se por documentos em sites especializados, como IBGE, MDIC, IMEA e COMEXSTAT, com os seguintes temas: Produção Animal, Transporte de Animais, Bem-Estar Animal e Telemetria.

Também realizou-se um levantamento bibliográfico em bases de dados científicas, como *Scielo*, *Science Direct*, *Scopus* e Google Acadêmico, a fim de identificar problemas que foram pouco explorados e que dão subsídios para uma nova perspectiva, que permite apresentar conceitos promissores, possibilitando estabelecer uma base para futuras pesquisas.

3.3 Metodologias Utilizadas nos Artigos

Nessa subseção apresenta-se de forma resumida as metodologias utilizadas nos três artigos desenvolvidos, já publicados, e no relatório técnico conclusivo.

3.3.1 Metodologia do Artigo 1 - IOCAG

Neste estudo, realizou-se uma revisão bibliométrica da literatura ([Okubo, 1997](#)), com o objetivo de identificar trabalhos sobre agricultura inteligente e avaliar o estado da arte das tecnologias nesse campo. Para evitar duplicidade, foi utilizada apenas a base de dados da *Scopus* com o intuito de identificar, avaliar e interpretar resultados relevantes.

A busca foi feita com a expressão "agricultura inteligente", no recorte do período entre 2002 a 2021, considerando apenas revisões publicadas em inglês. Foram selecionados 194 trabalhos e exportados em formato CSV para análise pelo *software* VOSviewer ([Eck; Waltman, 2014](#)), que permitiu a construção e a visualização de uma rede bibliométrica com base em relações de citação e ocorrências de termos importantes ([Souza et al., 2022](#)).

3.3.2 Metodologia do Artigo 2 - APMS

Neste estudo, realizou-se uma revisão bibliográfica ([Esquirol-Caussa; aldeguer; Santamaria, 2017](#)), com o objetivo de encontrar trabalhos que abordassem o uso de tecnologias para avaliar o bem-estar animal e os níveis de estresse. Para evitar redundâncias, apenas a base de dados da *Scopus* foi utilizada para identificar e analisar os resultados pertinentes.

A busca foi feita, selecionando-se trabalhos com as expressões "*Animal welfare*", "*slaughter*" e "*monitor animal*". Uma análise dos estudos encontrados revelou uma conexão com o uso de telemetria em fazendas, onde o ambiente pode ser controlado e automatizado ([Souza et al., 2022](#)).

3.3.3 Metodologia do Artigo 3 - KTU

Neste estudo, realizou-se uma revisão bibliográfica (Zupic; Čater, 2015), visando a propor um modelo para medição de temperatura e umidade relativa do ar em transporte de animais até o abatedouro.

Para evitar redundâncias, foi utilizada a base de dados da *Scopus* para identificar e avaliar resultados relevantes. Na busca, utilizou-se as palavras-chaves "*animal transport for slaughter*", "*animal transport*", "*monitor animal welfare for slaughter in transport*", excluindo publicações de 2022, para localizar estudos que envolviam o uso de sensores, como o de temperatura, o de umidade do ar, o de som e imagens (Souza; Reis, 2022).

3.3.4 Metodologia do Relatório Técnico Conclusivo - RTEC

Neste Relatório, realizou-se uma revisão bibliográfica (Pautasso, 2013), buscando-se definições sobre os conceitos de Bem-estar (Broom, 2019), Telemetria (Peterson et al., 2017; Silva et al., 2017; Fonseca et al., 2020) e Arduino (Geddes, 2016).

Para criação do artefato, aplicaram-se os conceitos de *Design Thinking* (Li; Chen; Fu, 2024), para desenvolver uma solução que ilustre as conexões entre o Arduino e os sensores de temperatura e umidade relativa do ar.

Os conceitos de *Design Thinking* (Empatia, Definição, Ideação, Prototipagem, Teste, Implementação) são centrados na abordagem de resolução de problemas de forma criativa e colaborativa (Li; Chen; Fu, 2024).

Esses conceitos são frequentemente iterativos, permitindo revisões e melhorias contínuas com base no *feedback* e nas novas percepções obtidas durante o processo, assim atendendo o objetivo do DSR (Dresch; Lacerda; Junior, 2015; Vaishnavi; Kuechler, 2021).

4 DESENVOLVIMENTO

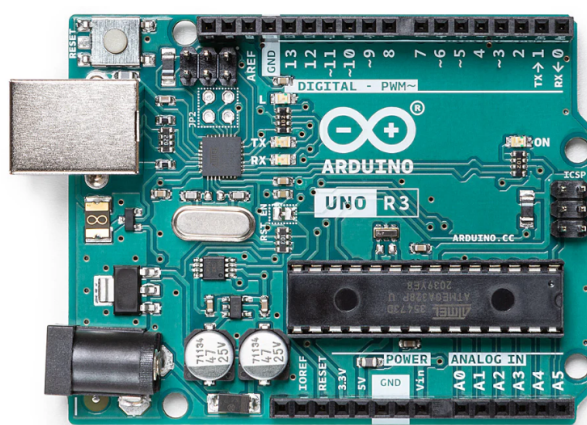
Este capítulo apresenta as ferramentas usadas na construção do artefato, baseando-se nas etapas do *Design Thinking* (Li; Chen; Fu, 2024) e do DSR (Vaishnavi; Kuechler, 2021) apresentadas no relatório técnico conclusivo.

4.1 Equipamentos

Nesta subseção, são apresentados os equipamentos utilizados para o desenvolvimento e o funcionamento do artefato de baixo custo e acessível.

1. **Arduino Uno R3:** Plataforma *open-source* para desenvolvimento de protótipos com baixo custo (Figura 10).

Figura 10: Arduino Uno R3



Fonte: (Arduino, 2024)

A Tabela 1 descreve as especificações técnicas do Arduino Uno R3 usado no artefato.

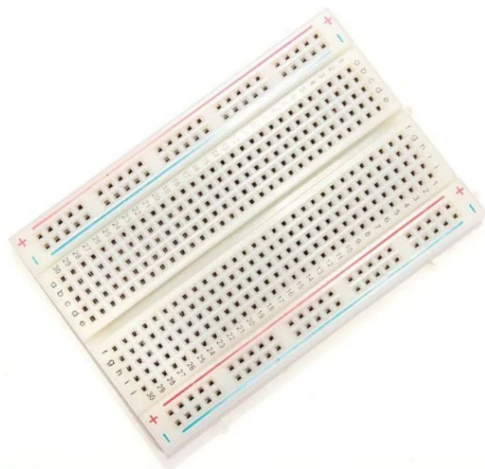
Tabela 1: Especificações do Arduino Uno R3

Características	Descrição
Microcontrolador	ATmega328
Tensão de Operação	5V
Tensão de Entrada	7-12V
Portas Digitais	14 (6 podem ser usadas como PWM)
Portas Analógicas	6
Corrente Pinos I/O	40mA
Corrente Pinos 3,3V	50mA
Memória <i>Flash</i>	32kB (0,5kB usado no <i>bootloader</i>)
SRAM	2kB
EEPROM	1kB
Velocidade do <i>Clock</i>	16MHz

Fonte: ([Arduino, 2024](#))

2. **Protoboard:** Plataforma com furos que permitem montar circuitos sem necessidade de conexões permanentes ou soldas (Figura 11).

Figura 11: *Protoboard*



Fonte: ([Arducore, 2024c](#))

A Tabela 2 descreve as especificações técnicas da *Protoboard* usada no artefato.

Tabela 2: Especificações da *Protoboard*

Características	Descrição
Furos	400
Material	Plástico ABS
Tensão Máxima	500V AC por minuto
Faixa de Temperatura	-20 °C a 80 °C
Dimensões	83mm x 55mm x 10mm

Fonte: ([Arducore, 2024c](#))

3. **Jumpers:** Conectores que permitem montar circuitos (Figura 12).

Figura 12: *Jumpers*



Fonte: ([Arducore, 2024a](#))

A Tabela 3 descreve as especificações técnicas dos *Jumpers* usados no artefato.

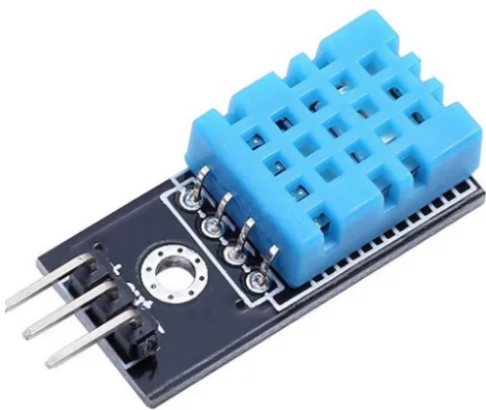
Tabela 3: Especificações dos *Jumpers*

Características	Descrição
Comprimento do cabo	300mm
Tensão Máxima	500V AC por minuto
Largura do conector	2,54mm

Fonte: ([Arducore, 2024a](#))

4. **Sensor DHT11:** Realiza leituras de temperatura e umidade relativa do ar (Figura 13).

Figura 13: Sensor DHT11



Fonte: (Arducore, 2024b)

A Tabela 4 descreve as especificações técnicas dos Sensor DHT11 usado no artefato.

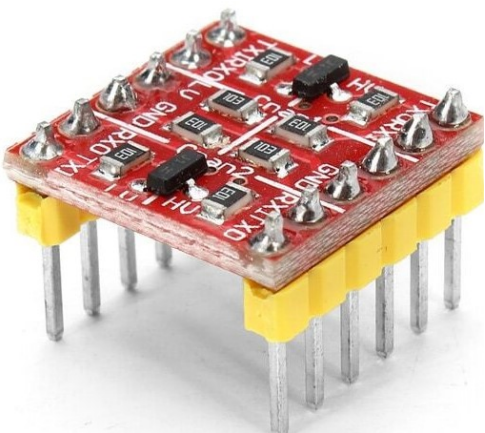
Tabela 4: Especificações dos Sensor DHT11

Características	Descrição
Dimensões	23mm x 12mm x 5mm
Alimentação	3,0V a 5,5V DC
Corrente	100µA a 500mA
Faixa de medição de umidade	20% a 90% UR
Faixa de medição de temperatura	0 °C a 50 °C
Precisão de umidade de medição	± 5,0% UR
Precisão de medição de temperatura	± 2.0 °C
Precisão de medição de temperatura	5 segundos

Fonte: (Arducore, 2024b)

5. **Conversor de Nível Lógico 3,3-5V Bidirecional:** Dispositivo que converte o sinal de 3.3V para 5V, e de 5V para 3,3V (Figura 14).

Figura 14: Conversor de Nível Lógico



Fonte: ([MakerHero, 2024](#))

A Tabela 5 descreve as especificações técnicas do Conversor de Nível Lógico usado no artefato.

Tabela 5: Especificações do Conversor de Nível Lógico

Características	Descrição
Tensão de Operação	3,3-5V (2,2V)
Dimensões	15.5mm x 16mm x 11.5mm

Fonte: ([MakerHero, 2024](#))

6. **Módulo RTC DS3231:** Relógio em tempo real de alta precisão (Figura 15).

Figura 15: Módulo RTC DS3231



Fonte: ([MakerHero, 2015a](#))

A Tabela 6 descreve as especificações técnicas do Módulo RTC DS3231 usado no artefato.

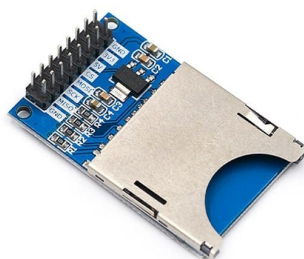
Tabela 6: Especificações do Módulo RTC DS3231

Características	Descrição
Chip	DS3231
Chip de memória	AT24C32
capacidade da memória	32kB (pode ser usada como RAM estendida)
Tensão de operação	3,3V – 5V
Consumo de corrente	500nA
Calendário completo	ano, mês, dia, hora, minuto, segundo
Interface de comunicação	I2C
Faixa de temperatura	0 °C a 40 °C
Dimensões	38mm x 22mm x 14mm
Peso	8 gramas
Precisão de medição de temperatura	±3 °C
Tipo da Bateria	CR2032

Fonte: ([MakerHero, 2015a](#))

7. **Módulo Cartão SD Card:** Facilita a escrita e a leitura em cartões SD, que suportam os formatos de arquivo FAT16 e FAT32 (Figura 16).

Figura 16: Módulo Cartão SD Card



Fonte: ([MakerHero, 2015b](#))

A Tabela 7 descreve as especificações técnicas do Módulo Cartão SD Card usado no artefato.

Tabela 7: Especificações do Módulo Cartão SD Card

Características	Descrição
Tensão de Operação	3,3-5V
Interface de comunicação	SPI (MOSI, SCK, MISO e CS)
Formatação de arquivo	FAT16 ou FAT32
Dimensões	51mm x 31mm

Fonte: ([MakerHero](#), 2015b)

4.2 Ambiente de Desenvolvimento

Nesta subseção, são apresentados os softwares que foram utilizados para construção e programação das funcionalidades do artefato.

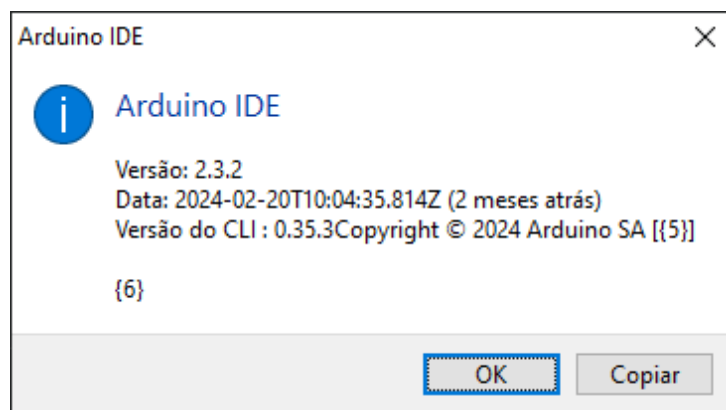
1. **Fritzing:** Permitiu a montagem do esquema dos componentes do artefato; utilizou-se a versão 0.9.4, lançada em 01/12/2019, para *Windows* (64 bits) (Figura 17).

Figura 17: *Fritzing*

Fonte: ([Fritzing](#), 2019)

2. **Arduino IDE:** Possibilitou a codificação das funcionalidades do artefato, utilizando-se a linguagem de programação C; utilizou-se o *software* Arduino IDE na versão 2.3.2, lançada em 20/01/2024, para *Windows* (64 bits) (Figura 18).

Figura 18: Arduino IDE



Fonte: (Arduino, 2024)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção tem o propósito de apresentar os resultados obtidos por meio de artigos publicados em congressos e revistas, no intuito de atender o objetivo geral e os específicos.

5.1 Artigo 1 - IOCAG

Neste artigo, realizou-se uma revisão da literatura sobre a aplicação do conceito de agricultura inteligente para identificar o estado da arte das tecnologias na agricultura inteligente. Seu título é “*A Bibliometric Overview Over Smart Farming*”.

Esse artigo faz parte dos *Proceedings of the 1st International Online Conference on Agriculture - Advances in Agricultural Science and Technology - IOCAG2022* (Figura 19), realizado no formato *online*, em 2022.





O artigo direcionou a pesquisa para o setor de produção e bem-estar animal. Nela, foi buscar os trabalhos sobre agricultura inteligente e desenvolver uma rede bibliométrica.

Figura 19: IOCAG 2022



Fonte: (IOCAG, 2022)

A Bibliometric Overview Over Smart Farming

Jonatas Santos de Souza ^{1,2,*} , João Gilberto Mendes dos Reis ^{1,2,*} , Paula Ferreira da Cruz Correia ^{1,2} 
and Gabriel Santos Rodrigues ^{1,2} 

¹ Postgraduate Program in Production Engineering, Universidade Paulista - UNIP, R. Dr. Bacelar, 1212-4fl, São Paulo 04026002, Brazil; paulafecruz@gmail.com (P.F.d.C.C.); biel.rodrigues@outlook.com (G.S.R.)

² RESUP - Research Group in Supply Chain Management, Postgraduate Program in Production Engineering, Universidade Paulista - UNIP, R. Dr. Bacelar, 1212-4fl, São Paulo 04026002, Brazil

* Correspondence: jonatas1516@gmail.com (J.S.d.S.); joao.reis@docente.unip.br (J.G.M.d.R.)

Abstract: Agriculture technology has been used to increase farms productivity allowing the management of spatial and temporal variability of soil factors, crops, and animals. Due to the advances in technologies such as the Internet of Things—where the devices monitor, analyze, and make decisions—the farms are connected forming the concept of smart agriculture. Thus, it is possible to increase efficiency, quality, speed and at the same time reduce cost, and wastes. In this study, we conducted a bibliometric review of smart farming concepts to identify the state of the art of use technologies in agriculture. Data collected from Scopus is analyzed using VOSviewer software. The software is a tool for building and visualizing bibliometric networks allowing the construction of networks based on citation relationships, bibliographic coupling, or occurrence of important terms. The results of the article present an overview of smart farming development.

Keywords: smart farming; agriculture; livestock; commodities



Citation: de Souza, J.S.; dos Reis, J.G.M.; da Cruz Correia, P.F.; Rodrigues, G.S. A Bibliometric Overview Over Smart Farming. *Chem. Proc.* **2022**, *1*, 0. <https://doi.org/>

Academic Editor: Massimo Cecchini

Published:

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Agriculture has been adopting several technological resources to increase productivity over the years. Nowadays, this phenomenon is called Precision Agriculture [1]. However, there are other terms associated in literature such as Digital Agriculture [2,3], Agriculture 4.0 [4], Smart Farming [5]. All of them emerged from the need to follow the technological advances in agricultural production [3,5].

By large, the proposal is the use of information technologies to increase productivity and planting quality using sensors to obtain process optimization and cost reduction [2–4]. However, before agriculture reach its current state, it passed through several milestones [4,5].

The first milestone was when nomads learned the art of cultivating the land to obtain food, so, there was no need for a change seeking hunting animals to eat [4]. The second milestone took place in the development and refinements of agricultural techniques introducing crop rotation techniques to preserve the soil and reduce area depletion [6]. Another highlight was the use of fences, changing from collective planting to individual one. These and other events became known as the English Agricultural Revolution at the beginning of the Industrial Revolution [6]. The third milestone was the use of machinery to increase production, replacing animal-drawn equipment for steam equipment or motorized machinery [4]. The Green Revolution is characterized by the increase of agricultural production in the intensive use of genetically modified seeds, use of industrial inputs and mechanization and reduction of manpower.

The fourth milestone is associated with concepts involving Industry 4.0 or Fourth Industrial Revolution [1,4], which makes use of emerging technologies such as Cloud Computing [7], Artificial Intelligence—AI [7], Robotics [8,9] and Internet of Things—IOT [10]

to increase efficiency, quality and speed in production and reduce costs and waste of inputs [1,2].

This immersion of new technologies in the agricultural sector has great potential to change agriculture as we know it, making it possible to use Unmanned Aerial Vehicle—UAV [11], such as drones for aerial analysis of planting or to assist in the identification of plants, and in the use of Unmanned Ground Vehicles—UGV [12], remotely controlled tractors to harvest crops or plow the land.

Digital agriculture can impact other sectors, such as agribusiness [13,14], environment and social [15] giving the opportunity to develop different solutions.

The aim of this paper is to investigate the publication over the topic in this century to identify the number, the evolution in this period, the author involved and main concepts. We consider in this study that all the names about the subject is part of smart farming approach.

The research is conducted using Scopus database and Vosviewer software and is part of ongoing Ph.D. that intends to investigate the development and use of technologies in agriculture. The article is divided in four sections: after this introduction we summarize the methodology, presents the results and make some final remarks in the conclusion section.

2. Methodology

This paper presents a bibliometric review [16,17] regarding articles published related to the concepts of smart farming to identify the state of the art of technologies in agriculture.

Using the Scopus database we adopted the term smart farming and collected data from 2002 to 2021—19 years—considering review papers and in the English language. The data of the papers obtained were extracted in CSV format and analysed with VOSviewer software (Visualizing Scientific Landscapes) [18].

The VOSviewer is a software to build and visualize bibliometric networks based on citation, authors name, journals and so on [16,19]. It allow us to extract reports for the type of analysis, questions, quantity among other functions of data mining. This tool permits to create and visualize bibliometric networks [16,19].

The software version adopted was 1.6.17 from 22 July 2021 [18].

3. Results

We obtained 194 papers regarding to the topic smart farming. Our results identified a raise in the number of publication after 2016, Figure 1.

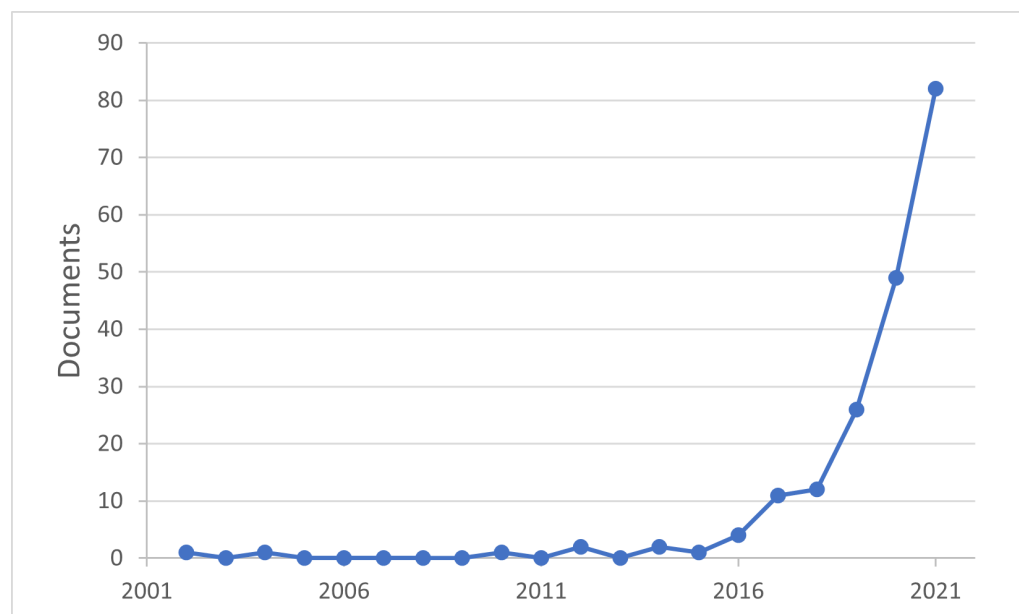


Figure 1. Evolution of scientific publications by year.

Among all the publications some studies can be highlighted. Pongnumkul et al. [20] analyzed the use of smartphone-based sensors in agriculture to obtain crop data. The authors identified 12 agricultural applications, 6 farm management applications, 3 information system applications, and 4 extension service applications, and making advances in the agricultural sector. Using the sensors of a smartphone, it was possible to develop applications that allow the management of the resources of a medium-sized farm or vegetable garden.

The authors Shi et al. [10], highlight the security and privacy of these technologies in smart farming, where they warn about proxy attacks, DoS - Denial-of-Service attacks, malicious code injection and how to avoid them. About privacy, they report on applications that collect private data from users and present some alternatives that help prevent data leakage.

In 2019, authors Farooq et al. [21], highlight some countries that have been successful in creating and implementing regulations and policies to standardize smart farming.

After 2016, publications commence to introduce other areas of study in the agriculture sector (Figure 2), such as Engineering, Social Sciences, Business, Management and Accounting. This change allowed the development of several studies involving smart agriculture, food safety and quality and efficient energy consumption in agriculture.

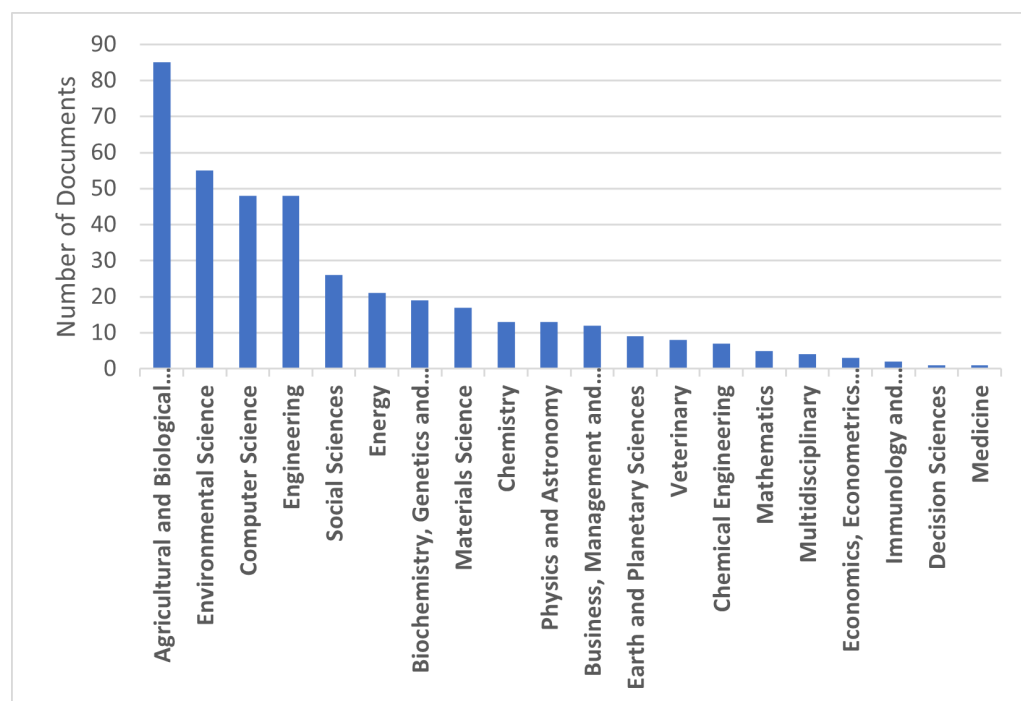


Figure 2. Documents by subject area.

In the bibliometric analysis through the VOSviewer software, the parameters created a map based on bibliographic data extracted from Scopus, with the option of bibliographic coupling of documents to identify the main publications and understand the state of the art of the concept on application of the smart agriculture, Figure 3.

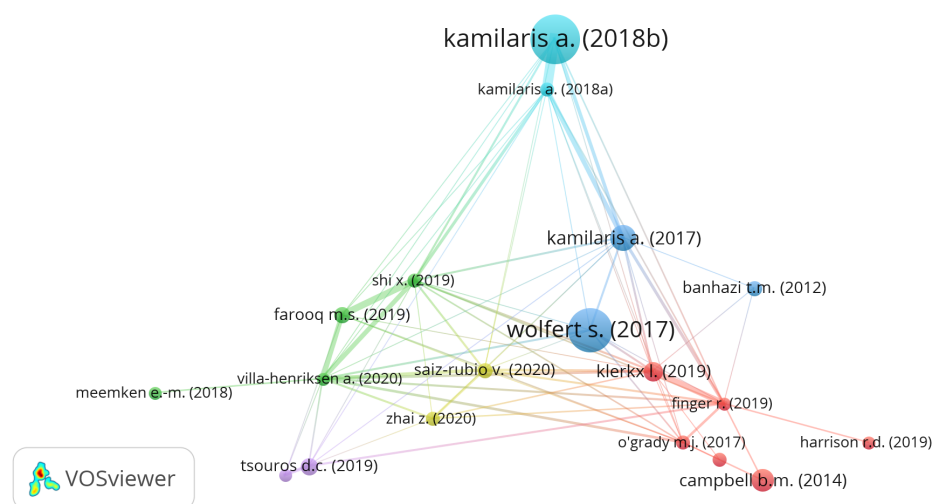


Figure 3. Network Visualization Bibliographic Coupling.

Observing Figure 3 it was possible to identify the main authors of scientific publications related to the topic of smart agriculture.

The relationship between authors is defined by the thickness of the connecting line between them, and each node represents the number of citations that each publication received. It is possible to infer that smart agriculture is part of an IoT ecosystem that uses A.I. for decision-making, which will bring benefits to the farmers. These benefits were obtained from the literature reviewed, some of these benefits are:

- Increase in production: the optimization of all processes related to agriculture and livestock;
- Water saving: weather forecasts and sensors that measure soil moisture allow watering only when necessary and for the right time;
- Quality improvement: an analysis of the production quality obtained in relation to the strategies used makes it possible to adapt the latter to increase the quality of the next production;
- Cost reduction: the automation of sowing, treatment and harvesting processes in the case of agriculture reduces resource consumption.
- Pest detection and health care: the early detection of pests in crops or diseases in animals makes it possible to minimize this impact on production and improve animal welfare.
- Increases sustainability: saving resources such as irrigation water and maximizing land use reduces environmental impact.

Through the literature review it was identified that a farm with smart agriculture takes 4 steps to be efficient and sustainable:

1. Note: the sensors will read and record the data in a bank for analysis;
2. Diagnosis: artificial intelligence will analyze the data based on predefined business models and rules for identification and decision making;
3. Decision: Artificial Intelligence will make the decision guided by machine learning;
4. Execution: artificial intelligence will direct some technological device to perform the task.

The biblioetric review allow us to establish some questions: With all these advanced technologies, the farms are being automated and reducing the workforce, how will the employees be reallocated? Will they be released from their occupations? What will be the impacts on society? Will prices be affordable for the small farmer?

To answer these and other questions, it is necessary to carry out further studies on future perspectives in the use of Smart Agriculture, Management of Technological Resources and Traceability of the Agrifood Supply Chain. These are the objectives of

authors in the future. This paper is part of Ph.D. studied that started in second semester of 2021.

4. Conclusions

In this research, a review was presented to understand the state of the art on the concepts of application of Intelligent Agriculture. It is concluded that the application of smart farming will bring great benefits to the farmer. It will make production more efficient in increasing production, more quality in cultivation and optimization and reduction of resource waste.

As the limitation of this study there are several issues, challenges and problems that were not addressed in this study and that may be addressed in future studies. However, this study attend the objective to explore the smart farming concepts in the literature.

Author Contributions: Conceptualization, J.S.d.S.; methodology, J.S.d.S.; software, J.G.M.d.R., P.F.d.C.C. and G.S.R.; validation, J.G.M.d.R.; formal analysis, J.G.M.d.R.; investigation, J.S.d.S.; writing—original draft preparation, J.S.d.S.; writing—review and editing, J.G.M.d.R. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior—Brasil (CAPES)—Finance Code 001.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Not applicable.

Acknowledgments: The authors would like to thank you Capes for the financial support of this research.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Pierce, F.J.; Nowak, P. Aspects of Precision Agriculture. In *Advances in Agronomy*; Elsevier, Academic Press: San Diego, California, 1999; Volume 67, pp. 1–85, doi:10.1016/S0065-2113(08)60513-1.
2. Tang, S.; Zhu, Q.; Zhou, X.; Liu, S.; Wu, M. A conception of digital agriculture. In Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Toronto, Ontario, Canada, 24–28 June 2002; Volume 5, pp. 3026–3028, doi:10.1109/IGARSS.2002.1026858.
3. Massruhá, S.M.F.S.; Leite, M.A.D.A.; Oliveira, S.R.D.M.; Meira, C.A.A.; Luchiari Junior, A.; Bolfe, E.L. *Agricultura Digital: Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação nas Cadeias Produtivas*; Embrapa: Brasília, Brazil, 2020.
4. Rose, D.C.; Chilvers, J. Agriculture 4.0: Broadening responsible innovation in an era of Smart Farming. *Front. Sustain. Food Syst.* **2018**, *2*, 87, doi:10.3389/fsufs.2018.00087.
5. Bronson, K. Smart farming: Including rights holders for responsible agricultural innovation. *Technol. Innov.* **2018**, *8*, 7–14, doi:10.22215/timreview/1135.
6. Overton, M. *Agricultural Revolution in England: The Transformation of the Agrarian Economy, 1500–1850*; Number 23 in Cambridge Studies in Historical Geography; Cambridge University Press: Cambridge, UK; New York, NY, USA, 1996.
7. Patrício, D.I.; Rieder, R. Computer vision and artificial intelligence in precision agriculture for grain crops: A systematic review. *Comput. Electron. Agric.* **2018**, *153*, 69–81, doi:10.1016/j.compag.2018.08.001.
8. Zhang, D.; Wei, B. (Eds.) *Robotics and Mechatronics for Agriculture*; CRC Press: Taylor & Francis Group: Boca Raton, FL, USA, 2017.
9. Ramin Shamshiri, R.; Weltzien, C.; Hameed, I.A.; Yule, I.J.; Grift, T.E.; Balasundram, S.K.; Pitonakova, L.; Ahmad, D.; Chowdhary, G.; Department of Agriculture Technology, Faculty of Agriculture, Universiti Putra Malaysia; et al. Research and development in agricultural robotics: A perspective of digital farming. *Int. J. Agric. Biol.* **2018**, *11*, 1–11, doi:10.25165/j.ijabe.20181104.4278.
10. Shi, X.; An, X.; Zhao, Q.; Liu, H.; Xia, L.; Sun, X.; Guo, Y. State-of-the-Art Internet of Things in Protected Agriculture. *Sensors* **2019**, *19*, 1833, doi:10.3390/s19081833.
11. Lottes, P.; Khanna, R.; Pfeifer, J.; Siegwart, R.; Stachniss, C. UAV-based crop and weed classification for smart farming. In Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Singapore, 29 May–3 June 2017; IEEE: Singapore, 2017; pp. 3024–3031, doi:10.1109/ICRA.2017.7989347.
12. Mousazadeh, H. A technical review on navigation systems of agricultural autonomous off-road vehicles. *J. Terramechanics* **2013**, *50*, 211–232, doi:10.1016/j.jterra.2013.03.004.
13. Lima, G.C.; Figueiredo, F.L.; Barbieri, A.E.; Seki, J. Agro 4.0: Enabling agriculture digital transformation through IoT. *Rev. Ciência Agronômica* **2020**, *51*, 1–20, doi:10.5935/1806-6690.20200100.

14. Romani, L.A.S.; Bariani, J.M.; Drucker, D.P.; Vaz, G.J.; Mondo, V.H.V.; Moura, M.F.; Bolfe, E.L.; Sousa, P.H.P.D.; Oliveira, S.R.D.M.; Luchiari Junior, A. Role of research and development institutions and AgTechs in the digital transformation of Agriculture in Brazil. *Rev. Ciência Agronômica* **2020**, *51*, 1–8, doi:10.5935/1806-6690.20200082.
15. Klerkx, L.; Jakku, E.; Labarthe, P. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. *NJAS - Wagening. J. Life Sci.* **2019**, *90*, 100315, doi:10.1016/j.njas.2019.100315.
16. Okubo, Y. Bibliometric Indicators and Analysis of Research Systems: Methods and Examples. In *OECD Science, Technology and Industry Working Papers 1997/01*; Organisation for Economic Co-Operation and Development: Paris, France, 1997. Volume 1997/01, doi:10.1787/208277770603.
17. Zupic, I.; Čater, T. Bibliometric Methods in Management and Organization. *Organ. Res. Methods* **2015**, *18*, 429–472, doi:10.1177/1094428114562629.
18. Van Eck, N.J.; Waltman, L. *VOSviewer Manual 1.6.17*; Universiteit Leiden, Netherlands, 2021.
19. Van Eck, N.J.; Waltman, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics* **2010**, *84*, 523–538, doi:10.1007/s11192-009-0146-3.
20. Pongnumkul, S.; Chaovalit, P.; Surasvadi, N. Applications of Smartphone-Based Sensors in Agriculture: A Systematic Review of Research. *J. Sensors* **2015**, *2015*, 1–18, doi:10.1155/2015/195308.
21. Farooq, M.S.; Riaz, S.; Abid, A.; Abid, K.; Naeem, M.A. A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Farming. *IEEE Access* **2019**, *7*, 156237–156271, doi:10.1109/ACCESS.2019.2949703.

5.2 Artigo 2 - APMS

Este artigo visa a identificar quais variáveis podem ser lidas por meio de sensores, para trazer-se conforto térmico para o animal e monitorar o seu nível de estresse. Tem como título: “*Technologies Used for Animal Welfare Monitoring*”.

Esse escrito faz parte dos *Proceedings of IFIP International Conference Advances in Production Management Systems - APMS 2022* (Figura 20), realizado em Gyeongju, Korea, e no formato *online*, em 2022.

No artigo, apresentaram-se as tecnologias que são usadas em animais na fazendas para garantir-se o bem-estar animal. Com isso, foi possível atender o objetivo específico 2.

Figura 20: Conference APMS 2022



Fonte: ([APMS](#), 2022)



Technologies Used for Animal Welfare Monitoring

Jonatas Santos de Souza¹(✉)  and João Gilberto Mendes dos Reis^{1,2} 

¹ RESUP - Research Group in Supply Chain Management,
Postgraduate Program in Production Engineering, Universidade Paulista - UNIP,
R. Dr. Bacelar, 1212-4fl, São Paulo 04026002, Brazil

jonatas1516@gmail.com, joao.reis@docente.unip.br

² Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Mackenzie Presbyterian University,
São Paulo, Brazil
joao.reis@mackenzie.br

Abstract. With the use of technology in the livestock sector, it has been allowed an increase in animal production and reduction of waste with more precision. The use of these technological resources in the sector gave rise to Precision Cattle Raising, which makes use of information and communication technology to extract the best from animal production with more precision. Studies show the use of telemetry to measure the state of animal welfare. However, during transportation from the farm to the slaughterhouse there is no specific way to check animal welfare, this can affect meat quality and the livestock economic sector and animal production. This study aims to identify the variables that can be read through sensors or biomarkers for monitoring animal welfare.

Keywords: Telemetry · Precision livestock · Animal welfare · Monitoring

1 Introduction

Animal welfare is associated with the comfort that the individual feels in relation to his environment and his harmonious behavior with it [1]. It relates to stress, health, and the physiological and psychological needs of the animal [1,2].

The environment in which the animal is inserted also contributes to welfare, and is related to the interaction of the animal with the environment and its fellows [3]. This presents variables that can be controlled and that influence positively or not in the production [1].

During the transport of animals to the slaughterhouse, there are several variables that bring discomfort to the animal, such as environment temperature, relative humidity, space, the balance of transport during the journey, thirst, and hunger.

Several studies discuss animal welfare in long-distance transport and how this affects meat production and quality due to a high level of stress on the animal during the long journey.

The objective of this study is to identify which variables can be read by sensors to bring thermal comfort to the animal and to monitor the animal's stress level.

1.1 Animal Welfare

According to the user's guide to animal welfare, it is described that animal welfare is related to the physical health and physiological conditions experienced by the animal [4].

Broom [2,5] describes that inability and difficulty in dealing with problems cause feelings of fear and anger, generate stress levels that alter an individual's well-being [5].

According to the Terrestrial Animal Health Code (Terrestrial Code) of the World Organization for Animal Health (OIE) [4] defines animal welfare as the behavior and conditions in which the animal lives, that is, an animal that is well nourished, able to perform innate behavior, healthy, and is not in distress, pain, and fear, is considered to be in a good state of welfare [4].

For an animal to be in a good state of well-being, it is necessary for the animal to have veterinary treatment to treat and prevent disease, proper shelter, good food, and an environment that brings comfort [2–7].

In order for farms to be able to guarantee a good welfare state for the animal, they use tools that make it possible to measure variables about the animal and the internal environment.

1.2 Telemetry

With the advancement of information and communication technology (ICT), farms make use of telemetry to take measurements of the indoor environment and the animal [8–10].

Telemetry allows measurement of the environment through sensors that take real-time readings on relative humidity, ambient temperature, water temperature, and recognition of stress level through the sound emitted by the animal [11,12].

This insertion of telemetry in the livestock sector is known as precision livestock, or Precision Animal Science [13,14], which makes use of technological resources to more accurately assess and monitor the conditions of the areas of animal production activities, measuring and analyzing the data of each animal.

Precision livestock presents similar objectives to precision agriculture [15], to follow the technological advances to automate animal production, and can assist in increasing production [13], saving water and energy, reducing costs and waste, and detecting pests and caring for the animal's health.

According to Dawkins [3], measuring animal welfare is not an easy task, just as measuring the height of a five-story building is, and it is complex due to the many variables that can be presented during the measurement. However, highlighted some activities that can be observed to analyze and measure animal

Table 1. Selected papers

Title	Objective	Method	Reference
Automatic prediction of stress in piglets (Sus Scrofa) using infrared skin temperature	Development of a model to predict stress in piglets using an infrared sensor	Thermal image analysis detects stressful conditions in piglets	[8]
Classification of piglet (Sus Scrofa) stress conditions using vocalization pattern and applying paraconsistent logic $E\tau$	Analysis to automatically classify stressful conditions in piglets using vocalization	Animal sound analysis detects stressful conditions in piglets	[9]
Use of Temperature, Humidity, and Slaughter Condemnation Data to Predict Increases in Transport Losses in Three Classes of Swine and Resulting Foregone Revenue	Analysis of the effects of temperature and humidity on pig deaths during transport	Analysis of meteorological data and temperature sensors	[10]
Transforming the Adaptation Physiology of Farm Animals through Sensors	Review of technologies for evaluating the adaptation of farm animals	Analysis of sensor technologies used on farms	[11]
Precision animal production: image analysis to study broiler's behavior under stress conditions	Evaluation of broiler behavior by analyzing images	Use of images to analyze behavior under heat stress	[14]
Welfare of lambs subjected to road transport and assessment of carcasses and meat	Evaluation of the welfare status of lambs in road transport and the impact of stress on meat	Evaluation of carcasses and meat	[18]
Temperature conditions during commercial transportation of cull sows to slaughter	Describing temperature changes and variations within trucks transporting sows to slaughter	Analysis of the temperature inside the trucks depending on the stop/movement	[19]

The five animal freedoms present guidelines for the animal to have access to water, nutritious food to maintain vigor and health, provide an appropriate and comfortable environment that allows the animal to express its natural behavior [6,7]. Veterinary care is also included presenting techniques and procedures for prevention, rapid diagnosis and treatment ensuring conditions that avoid suffering such as disease, injury and pain [6,7].

In order to achieve these guidelines, the farms make use of ICT to analyze and automate processes, and in this way can ensure a good state of animal welfare.

The study by da Fonseca et al. [8], used infrared imaging to measure temperature and identify thirst and stress conditions with high accuracy, thus presenting a non-invasive method to identify the level of stress.

With the use of a software that analyzes the vocal signals of piglets, obtained 93% (percent) accuracy for identification of pain condition [9], the vocal signals of 40 readers were analyzed through a scenario with stressful conditions of thirst, pain, hunger, cold and heat [9].

Researchers Peterson et al. [10], conducted an observational study, where he used temperature and relative humidity data to predict increases in pig losses and the impacts on lost revenue [8,20].

Peterson et al. [10], analyzed data from weather stations that are located near slaughterhouses in the United States from 2010 to 2015, to identify the high and low temperature periods. And during the study period, it was noted that a loss of USD \$18.6 million due to condemnations of pigs that were not fit for trade because of injuries to the meat caused by high and low temperatures [10].

Neethirajan [11], presented some Sensors and biomarkers that can be used for welfare monitoring used in farms (Fig. 2), thus bringing advantages and disadvantages in adopting sensor technologies in farms [11].

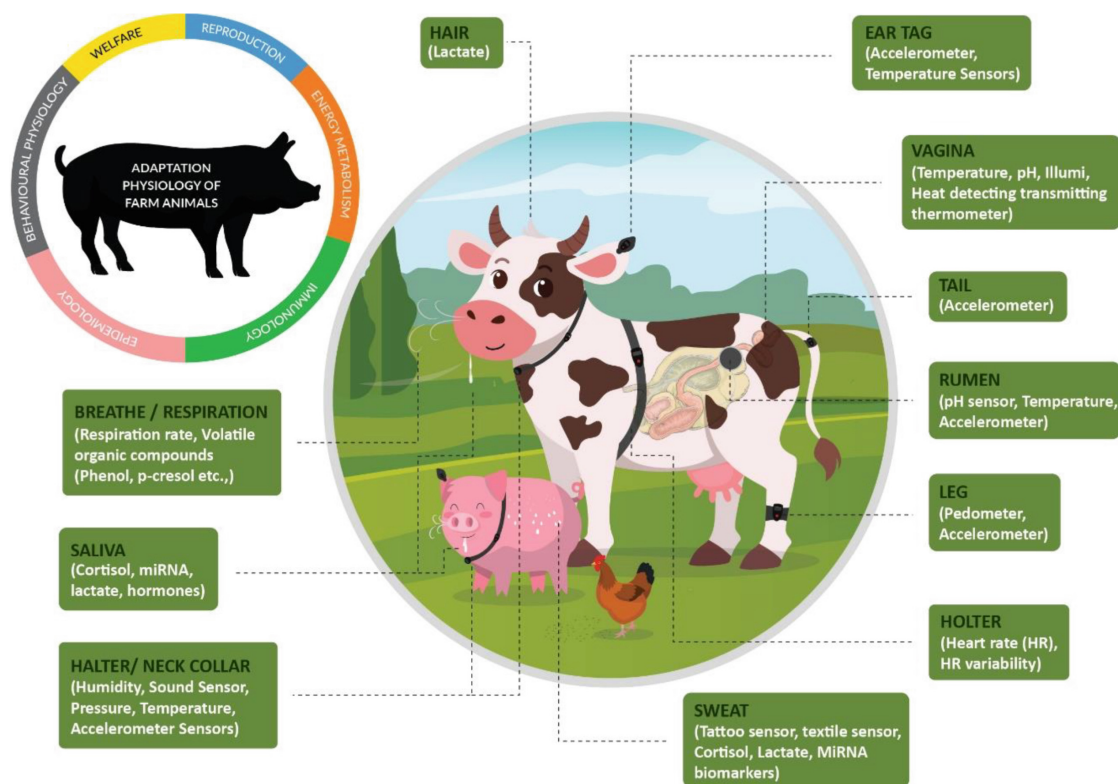


Fig. 2. Wearable sensors and biomarkers for animal welfare monitoring [11].

Sevegnani et al. [14], analyzed the behavior of chickens through images under heat stress conditions, the results indicated that the chickens ingested more water and less feed at high temperatures. This implies a decrease in live weight in longer transport.

The study by Silva et al. [18], analyzed images of lambs' behavior for slaughter, on trips between 7H30 to 10H30, the lambs ruminated more often than on shorter trips due to the stress conditions of hunger and thirst on long trips and shows that there is a greater chance of tissue injury [18,21].

Thodberg et al. [19], analyzed the internal temperature of the truck to know in which period there is an increase in temperature during movement or when the truck is stopped. Data from 39 commercial trips were analyzed and it was noted that there was an increase in temperature when the vehicle is stopped thus leaving the thermal comfort zone of the nuts [19].

4 Conclusion

Through this study it was possible to identify the telemetry technologies that are used on farms to measure and achieve good animal welfare status.

Monitoring the animal makes it possible to perform operations that can improve the animal's welfare by decreasing discomfort due to stress conditions from hunger, thirst, and pain, thus reducing losses due to confusion or injuries to the meat.

Studies show concerns with animal welfare and how much this impacts the livestock economic sector. Through this study, the cattle breeder can identify which sensor technologies for monitoring can be used on the farm, thus reducing eventual risks and losses.

Another study is needed to analyze the factors that make the implementation of these technologies feasible. The prices and maintenance costs are factors that can make the use of monitoring technologies unviable.

As a complement to this study, research is being carried out that will make it possible to develop a low-cost prototype to monitor animal welfare in transports that travel long distances in Brazil.

Acknowledgments. This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

References

1. Machado, S.T., Santos, R.C.: O papel do bem-estar animal e as tendências de ambiência animal. In: dos Reis, J.G.M., de Oliveira Costa Neto, P.L. (eds.) Engenharia de produção aplicada ao agronegócio, pp. 263–290. Blucher, São Paulo (2018)
2. Broom, D.M.: Animal welfare: concepts and measurements. *J. Anim. Sci.* **69**(10), 4167–4175 (1991)
3. Dawkins, M.S.: Evolution and animal welfare. *Q. Rev. Biol.* **73**(3), 305–328 (1998)
4. International Office of Epizootics: Terrestrial animal health code (2021). OCLC: 1308956605. <https://doc.woah.org/dyn/portal/index.xhtml?page=alo&aloId=41548&req=103&cid=a95aa508-fdf8-4dcb-b0c9-eecf3224ab68>
5. Broom, D.M.: Welfare concepts. In: Encyclopedia of Animal Behavior, pp. 80–83. Elsevier (2019). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.01321-2>
6. Farm animal welfare committee (FAWC). www.gov.uk/government/groups/farm-animal-welfare-committee-fawc
7. Animal welfare committee (AWC). www.gov.uk/government/groups/animal-welfare-committee-awc

8. da Fonseca, F.N., Abe, J.M., de Alencar Nääs, I., da Silva Cordeiro, A.F., do Amaral, F.V., Ungaro, H.C.: Automatic prediction of stress in piglets (*Sus Scrofa*) using infrared skin temperature. *Comput. Electron. Agric.* **168**, 105148 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105148>
9. da Silva, J.P., de Alencar Nääs, I., Abe, J.M., da Silva Cordeiro, A.F.: Classification of piglet (*Sus Scrofa*) stress conditions using vocalization pattern and applying paraconsistent logic. *Comput. Electron. Agric.* **166**, 105020 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105020>
10. Peterson, E., Remmenga, M., Hagerman, A.D., Akkina, J.E.: Use of temperature, humidity, and slaughter condemnation data to predict increases in transport losses in three classes of swine and resulting foregone revenue. *Front. Vet. Sci.* **4**, 67 (2017). <https://doi.org/10.3389/fvets.2017.00067>
11. Neethirajan, S.: Transforming the adaptation physiology of farm animals through sensors. *Animals* **10**, 1512 (2020). <https://doi.org/10.3390/ani10091512>
12. Stephen, B., Michie, C., Andonovic, I.: Remote sensing in agricultural livestock welfare monitoring: practical considerations. In: Mukhopadhyay, S., Jiang, J.A. (eds.) *Wireless Sensor Networks and Ecological Monitoring. Smart Sensors, Measurement and Instrumentation*, vol. 3, pp. 179–193. Springer, Berlin, Heidelberg (2013). https://doi.org/10.1007/978-3-642-36365-8_7
13. Pandorfi, H., Almeida, G.L.P., Guiselini, C.: Precision animal production: basic principles and news in the swine production **13**, 558–568. UFBA - Universidade Federal da Bahia. www.scielo.br/j/rbspa/a/zrsddbNQGp5mTkDLnRGmFLm/?lang=pt
14. Sevegnani, K.B., Caror, I.W., Pandorfi, H., da Silva, I.J.O., de Moura, D.J.: Precision animal production: image analysis to study broiler's behavior under stress conditions. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.* **9**, 115–119 (2005). <https://doi.org/10.1590/S1415-43662005000100017>
15. Pierce, F.J., Nowak, P.: Aspects of precision agriculture. *Adv. Agron.* **67**, 1–85. Elsevier (1999). [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60513-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60513-1)
16. Esquirol-Caussa, J., Sanchez-Aldeguer, J., Santamaria, I.: A bibliographical review: the basis of our research. *Physiotherapy Updates*, 33–36 (2017)
17. Pautasso, M.: Ten simple rules for writing a literature review. *PLoS Comput. Biol.* **9**, e1003149 (2013). <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1003149>
18. Silva, F.V., et al.: Welfare of lambs subjected to road transport and assessment of carcasses and meat. *Pesquisa Vet. Bras.* **37**, 630–636 (2017). <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2017000600017>
19. Thodberg, K., Foldager, L., Fogsgaard, K.K., Gaillard, C., Herskin, M.S.: Temperature conditions during commercial transportation of cull sows to slaughter. *Comput. Electron. Agric.* **192**, 106626 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106626>
20. Lana, R.F., da Cunha, A.F., Lana, R.F., Santos, L.F., Araújo, F.R., da Silva, M.D.: Influence of feed withdrawal on mortality, body weight loss, fractures, bruises and contamination of carcasses in poultry slaughterhouse. *Arch. Vet. Sci.* **23**, 24–32 (2018). <https://doi.org/10.5380/avs.v23i1.44731>
21. Sousa, R.S., Nunes, E.D.S.C.L., Neto, M.S.D., Cardoso, G.V.F.: Occurrence of contusions in bovine carcasses in the state of Pará due to transport. *Med. Vet. (Brazil)* **15**, 70–74 (2021). <https://doi.org/10.26605/medvet-v15n1-2268>

5.3 Artigo 3 - KTU

Este artigo propôs um modelo para o monitoramento do estado do bem-estar animal durante o transporte do animal até o abatedouro no Brasil. Tem como título: “*Proposal of a model for animal welfare monitoring in long-distance transport to the slaughterhouse*”.

O artigo faz parte dos *Proceedings of The International Young Researchers Conference “INDUSTRIAL ENGINEERING 2022”* (Figura 21), realizado na *Kaunas University of Technology, Lithuania*, e no formato *online*, em 2022.

O artigo apresentou uma proposta para o monitoramento do bem estar animal com base nas descobertas do artigo 1 e 2, na identificação de quais dados podem ser monitorados por meio dos sensores de temperatura e umidade relativa do ar, assim atendendo o objetivo específico 3.

Figura 21: Conference “INDUSTRIAL ENGINEERING 2022”



Place: Kaunas University of Technology, Santaka Valley, Baršausko str. 59, Kaunas

Fonte: (KTU, 2022)

Proposal of a model for animal welfare monitoring in long-distance transport to the slaughterhouse

Jonatas, Santos de SOUZA*, João Gilberto Mendes dos REIS**

**Postgraduate Program in Production Engineering, Universidade Paulista - UNIP, R. Dr. Bacelar, 1212-4fl, São Paulo 04026002, Brazil; E-mail: jonatas1516@gmail.com*

***RESUP - Research Group in Supply Chain Management, Postgraduate Program in Production Engineering, Universidade Paulista - UNIP, R. Dr. Bacelar, 1212-4fl, São Paulo 04026002, Brazil, E-mail: joao.reis@docente.unip.br*

1. Introduction

With the emergence of the fourth industrial revolution or Industrial 4.0, the livestock sector has begun to use information and communication technologies (TIC) for monitoring, analysis and decision making for increasing and optimizing animal production on farms and ranches. The use of TiC for the purpose of increasing and optimizing animal production on farms and ranches, is called Precision Livestock Farming [1].

Precision Livestock Farming, also known as Precision Animal Science [2], collects, measures, and analyses data from each animal. This data is collected through sensors in real time in an automatic way without interruptions [2]. Through monitoring it becomes possible to identify the state of animal welfare [3] within a farm or ranch [4]. But during the transport of the animal to the slaughterhouse there is no telemetry to check the state of animal welfare.

In Brazil, often the route between the farm to the slaughterhouse is exceptionally long and can generate an increase in the level of stress of the animal and discomfort [5] such as hunger, thirst, fear, anxiety, and pain caused by injuries during the journey [6-8].

The aim of this study is to propose a model for monitoring the state of animal welfare during the animal transport to the slaughterhouse in Brazil.

2. Experimental details

In this study, a literature review was conducted with the aim of identifying the ICT used in farms and ranches to propose a model in the transport of the animal to the slaughterhouse.

To avoid duplicate works, only the Scopus database was used to identify and evaluate the relevant results for the scope of this study. In the first search, the expression used was 'animal transport for slaughter'; papers having the keywords 'animal transport', 'animal welfare', 'slaughter' and 'monitor animal' were selected, excluding publications from 2022.

In the second search, the expression 'monitor animal welfare for slaughter in transport' was used, and papers having the keywords 'animal transport', 'Animal welfare', 'slaughter', and 'monitor animal' were selected, excluding publications from the year 2022.

Also selected were papers that held the use of temperature sensors [9,10], relative humidity [9,10], sound sensors [11] and images.

For the development of the proposed model, it was used the concepts of Design Thinking [12,13], which allows to develop a solution to some problem [14] in a creative and interactive way [15,16].

Design Thinking has five stages [17]: Empathy or Immersion, Definition (Analysis and Synthesis), Ideation, Prototyping and Testing (Validation and Implementation) [16].

For this study, three stages of Design Thinking were used: (1) Empathy; (2) Definition; and (3) Ideation. In the Empathy stage, it is associated in the understanding of the user's needs, is the minimization of carcass losses in relation to long transports to the slaughterhouse.

In the Definition stage, related to analysis and understanding of the problem, which presents some studies about bruises or injuries due to long distance routes found in the literature.

In the Ideation stage, which presents a model for monitoring animal welfare in long-distance transport, as a proposed solution to the problem.

3. Results and Discussion

After a brief analysis of the literature selected for this study, it was possible to find and understand the problem.

The study by Sousa et al. [6], evaluated contusions found in bovine carcasses and related the type of transportation and the distance travelled. A total of 1797 bovine carcasses were randomly analysed, and 329 carcasses with bruises were from long-distance road transport [6].

According to Lana et al. [7], any injury or contusion on the beef carcass during the pre-slaughter stage or during transport is liable to condemnation at the slaughterhouse, thus causing great economic impact [7].

In the study by Silva et al. [8], showed that long journeys in the transport of lambs to slaughter, increased the level of protein creatine kinase, this indicates that there was injury to the heart or other muscles and contraction in the muscles [8].

In the studies Sousa et al. [6], Lana et al. [7] and Silva et al. [8] are associated with animal welfare [3], where it can be said that a poor state of welfare causes impacts on the livestock and economic sector [18].

With the analysis of the literature selected to conduct this study, it was possible to find that farms and ranches with a focus on animal production, use the guidelines established by the Farm Animal Welfare Committee (FAWC) [19] of the five animal freedoms to be able to measure the state of animal welfare [20].

On farms, sensors are used that measure the temperature of the environment, relative humidity, sound capture to classify the level of stress and body temperature of the animal with a thermal sensor.

Therefore, it is understood that a model proposal is needed to check the state of animal welfare and prevent injuries caused by the animal's own behavior. Through the second literature review it was possible to find which sensors are used on farms and ranches to measure the animal's welfare status (Figure 1).

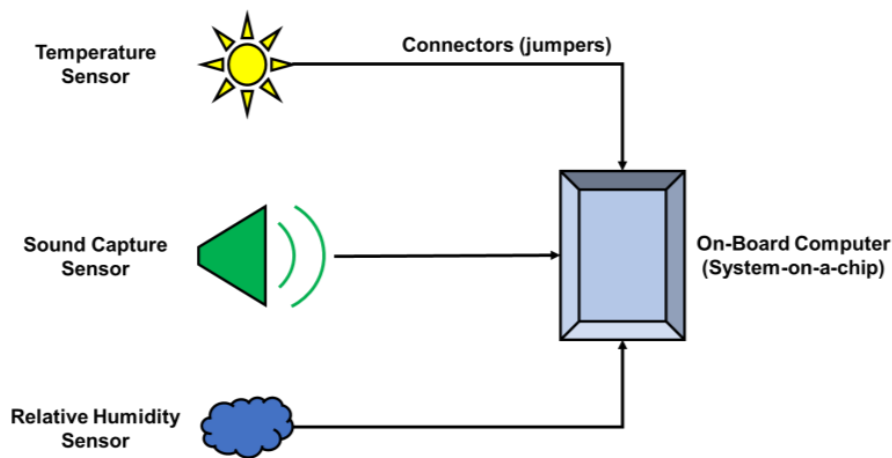


Fig. 1 Sensors and on-board computer proposed in the model

Figure 2 shows where the sensors would be found during long distance transport.

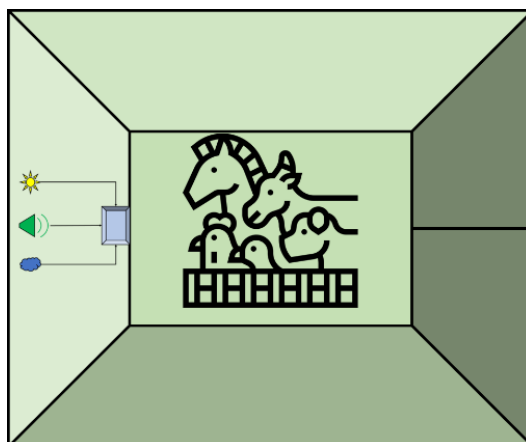


Fig. 2 sensor location on a transport truck, seen from the top.

4. Conclusions

With the use of the Design Thinking stages, it became possible to develop a proposal in a creative and rational way to meet the user's needs, creating solutions with excellence and innovation.

However, it is necessary to conduct a field study with a Prototype for implementation, along with the Test phase for validation of the prototype and analysis of the results.

The monitoring of the animal during transport will allow the realization of interventions that improve the state of animal welfare, thus reducing the loss by confusion or injuries in the meat, low stress level enabling the improvement in meat quality.

Acknowledgments

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

References

1. Pierce, F. J., & Nowak, P. (1999). Aspects of Precision Agriculture. In *Advances in Agronomy* (Vol. 67, p. 1–85). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60513-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60513-1)
2. Pandorfi, H., Almeida, G. L. P., & Guiselini, C. (2012). Zootecnia de precisão: Princípios básicos e atualidades na suinocultura. *Revisal Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 13, 558–568.

3. Broom, D. M. (1991). Animal welfare: Concepts and measurement². *Journal of Animal Science*, 69(10), 4167–4175. <https://doi.org/10.2527/1991.69104167x>
4. Sevegnani, K. B., Caror, I. W., Pandorfi, H., Silva, I. J. O. da, & Moura, D. J. de. (2005). Zootecnia de precisão: Análise de imagens no estudo do comportamento de frangos de corte em estresse térmico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9, 115–119. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662005000100017>
5. Thodberg, K., Foldager, L., Fogsgaard, K. K., Gaillard, C., & Herskin, M. S. (2022). Temperature conditions during commercial transportation of cull sows to slaughter. *Computers and Electronics in Agriculture*, 192, 106626. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106626>
6. Sousa, R. S., Nunes, E. D. S. C. L., Neto, M. S. D., & Cardoso, G. V. F. (2021). Occurrence of contusions in bovine carcasses in the state of Pará due to transport. *Medicina Veterinaria (Brazil)*, 15(1), 70–74. Scopus. <https://doi.org/10.26605/medvet-v15n1-2268>
7. Lana, R. F., da Cunha, A. F., Lana, R. F., Santos, L. F., Araújo, F. R., & da Silva, M. D. (2018). Influence of feed withdrawal on mortality, body weight loss, fractures, bruises and contamination of carcasses in poultry slaughterhouse. *Archives of Veterinary Science*, 23(1), 24–32. Scopus. <https://doi.org/10.5380/avs.v23i1.44731>
8. Silva, F. V., Borges, I., Lana, Â. M. Q., Borges, A. L. C. C., Sá, H. C. M., Silva, V. L., Alves, L. R. N., & Souza, F. A. (2017). Welfare of lambs subjected to road transport and assessment of carcasses and meat. *Pesquisa Veterinaria Brasileira*, 37(6), 630–636. Scopus. <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2017000600017>
9. Peterson, E., Remmenga, M., Hagerman, A. D., & Akkina, J. E. (2017). Use of temperature, humidity, and slaughter condemnation data to predict increases in transport losses in three classes of swine and resulting foregone revenue. *Frontiers in Veterinary Science*, 4(MAY). Scopus. <https://doi.org/10.3389/fvets.2017.00067>
10. da Fonseca, F. N., Abe, J. M., de Alencar Nääs, I., da Silva Cordeiro, A. F., do Amaral, F. V., & Ungaro, H. C. (2020). Automatic prediction of stress in piglets (*Sus Scrofa*) using infrared skin temperature. *Computers and Electronics in Agriculture*, 168, 105148. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105148>

11. da Silva, J. P., de Alencar Nääs, I., Abe, J. M., & da Silva Cordeiro, A. F. (2019). Classification of piglet (*Sus Scrofa*) stress conditions using vocalization pattern and applying paraconsistent logic Et. *Computers and Electronics in Agriculture*, 166, 105020. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105020>
12. Roberts, J. P., Fisher, T. R., Trowbridge, M. J., & Bent, C. (2016). A design thinking framework for healthcare management and innovation. *Healthcare*, 4(1), 11–14. <https://doi.org/10.1016/j.hjdsi.2015.12.002>
13. Rowe, P. G. (1994). *Design thinking* (5th print). MIT Press.
14. Meinel, C., & Leifer, L. J. (2020). Design thinking research: Investigating design team performance. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=2258671>
15. Edelman, J. A., Owoyele, B., Santuber, J., Talbot, A. V., Unger, K., & von Lewinski, K. (2020). Accessing Highly Effective Performative Patterns. In C. Meinel & L. Leifer (Eds.), *Design Thinking Research* (pp. 15–33). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-28960-7_2
16. Li, Y., & Fu, Z. (2020). Creativity Initiative: Design Thinking Drives K12 Education from a Future Thinking. In P.-L. P. Rau (Ed.), *Cross-Cultural Design. Applications in Health, Learning, Communication, and Creativity* (Vol. 12193, pp. 325–337). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49913-6_28
17. Kumar, K., Zindani, D., & Davim, J. P. (2020). Methods and Tools of Design Thinking. In K. Kumar, D. Zindani, & J. P. Davim, *Design Thinking to Digital Thinking* (pp. 39–47). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-31359-3_3
18. Mendonça, F. S., Vaz, R. Z., Costa, O. A. D., Gonçalves, G. V. B., & e Moreira, S. M. (2016). Factors affecting beef cattle welfare during pre-slaughter period. *Archivos de Zootecnia*, 65(250), 281–289. Scopus.
19. Farm Animal Welfare Committee (FAWC). GOV.UK. [accessed 4 April. 2021], Available from Internet <https://www.gov.uk/government/groups/farm-animal-welfare-committee-fawc>

20. International Office of Epizootics. (2021). Terrestrial animal health code. 2021. [accessed 4 April. 2021]. Available from Internet <https://doc.oie.int/dyn/portal/index.xhtml?page=alo&aloId=41548&req=103&cid=a95aa508-fdf8-4dcb-b0c9-eeef3224ab68>

Jonatas Santos de SOUZA, João Gilberto Mendes dos REIS

Proposal of a model for animal welfare monitoring in long-distance transport to the slaughterhouse

S u m m a r y

Precision Farming is being used more in the livestock sector, to increase animal production and reduce the waste of inputs. With the use of environmental temperature sensors, relative humidity and sound capture sensors, it has become possible to identify and classify the welfare status of farm animals. However, during the transportation of long distances there are no devices in the trucks to identify and classify the animal welfare status, thus generating negative impact on the economy and carcass loss due to injury. This study aims to present a proposal for animal welfare monitoring during long distance transport.

Keywords: Animal Transport, Slaughter, Animal Welfare, Monitor Animal

5.4 Relatório Técnico Conclusivo - RTEC

O Relatório Técnico Conclusivo (RTEC) é um documento elaborado que apresenta informações sobre o artefato desenvolvido, abrangendo o referencial teórico, o planejamento, o desenvolvimento e as conclusões.

O RTEC permitiu o atender os objetivos específicos 1 e 4, apresentando o relatório sobre o desenvolvimento de um sistema de baixo custo para o monitoramento da temperatura e da umidade relativa do ar no transporte de cargas vivas.

UNIVERSIDADE PAULISTA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

RELATORIO TECNICO CONCLUSIVO

DATALOGGER SYSTEM ANIMAL WELFARE

JONATAS SANTOS DE SOUZA

ORIENTADOR: PROF. DR. JOÃO GILBERTO MENDES DOS REIS

SÃO PAULO
2024

I – TIPIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICA

A. Produção técnica é constituída pelo próprio produto?

☒ **Sim** ☐ Não

Se NÃO, qual o grau de contribuição diretamente aplicada ao produto?

☐ Excepcional ☐ Incremental ☐ Residual

II – FINALIDADE

É o desenvolvimento de um sistema de baixo custo para o monitoramento da temperatura e da umidade relativa do ar no transporte de cargas vivas.

III – AVANÇO TECNOLÓGICO / GRAU DE NOVIDADE

A implementação desse sistema permite a coleta precisa de dados ambientais, fundamentais para garantir o bem-estar dos animais e a qualidade dos produtos transportados.

O Arduino, sendo um microcontrolador de baixo custo e de fácil programação, oferece uma solução eficiente e acessível para o monitoramento contínuo das condições do ambiente.

A capacidade de integrar sensores de temperatura e umidade ao Arduino possibilita a criação de um sistema robusto e confiável, que pode ser ajustado conforme as necessidades específicas do transporte dos animais a serem transportados.

Este avanço tecnológico não apenas melhora a gestão logística, mas também contribui para práticas de transporte mais sustentáveis e responsáveis. Desse modo, existe a possibilidade de patentear a tecnologia/aplicação desenvolvida.

Classificação:

☐ Produção com alto teor inovativo: Desenvolvimento com base em conhecimento inédito;

☒ **Produção com médio teor inovativo: Combinação de conhecimentos pré-estabelecidos;**

☐ Produção com baixo teor inovativo: Adaptação de conhecimento existente;

☐ Produção sem inovação aparente: Produção técnica.

IV – PARTICIPANTES DO PROJETO

Organização: Universidade Paulista – UNIP

Discente: Jonatas Santos de Souza

Link para currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/8315397851277886>

Docente orientador: Dr. João Gilberto Mendes dos Reis

Link para currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/4186274266406358>

V – CONEXÃO COM A PESQUISA

Projeto de Pesquisa vinculado à produção: Aplicação de ferramentas e métodos quantitativos na solução de problemas em engenharia de produção e logística.

Linha de Pesquisa vinculada à produção: Métodos Quantitativos em Engenharia de Produção.

Programa de Pós-graduação vinculada à produção: Programa de Pós-graduação Engenharia de Produção

Instituição vinculada à produção: Universidade Paulista - UNIP

() Projeto isolado, sem vínculo com o Programa de Pós-graduação

Conexão com a Produção Científica

Relacione os artigos publicados apenas em periódicos que estão correlacionados a esta produção

Título: *Technologies Used for Animal Welfare Monitoring*

Periódico: *Advances in Production Management Systems. Smart Manufacturing and Logistics Systems: Turning Ideas into Action*

Ano: 2022

Volume: 664

Páginas: 124-130

DOI: doi.org/10.1007/978-3-031-16411-8_16

Título: *Proposal of a model for animal welfare monitoring in long-distance transport to the slaughterhouse*

Publicado em: The International Young Researchers Conference Industrial Engineering

Ano: 2022

Volume: 1

Páginas: 1-7

Campos descritivos opcionais***Situação atual da Produção:** Finalizado**Descrição da Abrangência realizada:**

Grau de facilidade com que o produto foi empregado para atingir seus objetivos específicos.

☐ Baixa☒ Média☐ Alta**Descrição da Abrangência potencial:**

Grau de facilidade com que o produto pode vir a ser empregado para atingir seus objetivos específicos

☐ Baixa☐ Média☒ Alta**Descrição da Replicabilidade:**☒ Restrita☐ Irrestrita☐ Escalável**A produção necessita estar no repositório?**☒ Sim☐ Não**Documentos Anexados (em PDF)**☐ Declaração emitida pela organização cliente☒ Relatório

1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1. Bem-estar Animal

O bem-estar dos animais que são criados com a finalidade de atender o mercado mundial de proteína tem ganhado cada vez mais atenção e preocupação de consumidores, produtores e sociedades de proteção.

Segundo o guia do usuário para o bem-estar dos animais, o bem-estar animal está relacionado à saúde física e às condições fisiológicas sentidas pelo animal (IOE, 2023).

Pode-se descrever que a incapacidade ou, às vezes, a dificuldade em lidar com problemas causam ao animal sentimentos de medo e raiva, geram níveis de estresse que alteram o seu bem-estar (Broom, 1991).

De acordo com o Código Sanitário dos Animais Terrestres da Organização Mundial da Saúde Animal, o bem-estar animal é o comportamento e as condições em que ele vive, ou seja, quer-se um animal bem nutrido, capaz de realizar comportamento inato, saudável que não esteja com angústia, dor e medo (FAWC, 2019).

Para que o animal esteja em um bom estado de bem-estar, é necessário que ele tenha tratamento veterinário para cuidar de doenças e as prevenir, abrigo apropriado, boa alimentação e um ambiente que traga conforto (Machado; Santos, 2018).

Para que as fazendas possam garantir um bom estado de bem-estar ao animal, utilizam-se ferramentas que possibilitam a medição de variáveis do animal e do ambiente interno.

1.2. Telemetria

Com o avanço da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), as fazendas fazem uso da telemetria para realizar medições do ambiente interno e dos animais (PETERSON *et al.*, 2017).

A telemetria permite a medição do ambiente através de sensores que fazem a leitura em tempo real da umidade relativa do ar, da temperatura ambiente, da temperatura da água e do reconhecimento do nível de estresse através do som emitido pelo animal (Neethirajan, 2020).

Essa inserção da telemetria no setor pecuário é conhecida como Pecuária de Precisão ou Zootecnia de Precisão (Costa, 2021). Ela faz a utilização de recursos tecnológicos para avaliar e acompanhar de maneira mais precisa as condições das áreas de produção animal, de mensuração e de análise de dados de cada animal (Vaintrub *et al.*, 2021).

A Pecuária de Precisão apresenta objetivos semelhantes à agricultura de precisão (Pierce; Nowak, 1999), consistindo em acompanhar os avanços tecnológicos para automatizar a produção animal, auxiliando no aumento da produção, na economia de água e energia, na redução de custos e desperdício, e na detecção de pragas e cuidados para a saúde do animal (Pandorfi; Almeida; Guiselini, 2012).

Medir o bem-estar animal não é tarefa fácil. A medição do bem-estar é complexa devido às diversas variáveis que podem surgir durante a medição (Dawkins, 1998). Para medir, mensurar e analisar o bem-estar animal, é necessário realizar as seguintes observações:

1. Comportamento natural do animal.
2. Adequação e Longevidade.
3. Estresse e Sintomas Fisiológicos.

Ao realizar essas observações, torna-se possível executar testes para gerar indicadores de comportamento, como cortar o fornecimento de água por um período prolongado e analisar o comportamento, a temperatura corporal e o som emitido pelo animal (Dawkins, 1998). Dessa forma, é possível uma melhor análise para mensurar o estado de bem-estar animal.

1.3. Arduino

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto e hardware livre. Ela é projetada para ser acessível a iniciantes, mas também é poderosa o suficiente para ser usada por profissionais em uma variedade de projetos (Arduino: The Documentary, 2010).

A plataforma consiste em placas de hardware que contêm um microcontrolador e uma interface de programação que permite aos usuários

escrever e carregar código para controlar dispositivos eletrônicos (Geddes, 2016).

O Arduino utiliza uma linguagem de programação baseada em C/C++ simplificada, o que o torna bastante acessível para aqueles que estão aprendendo a programar (McRoberts, 2010).

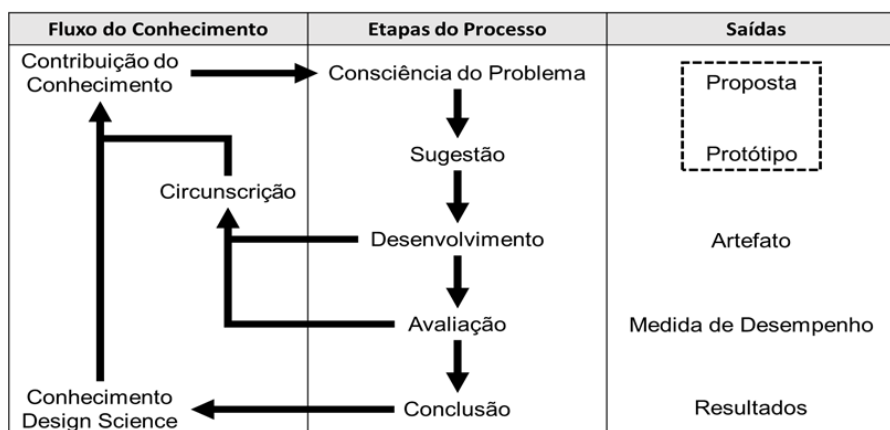
Uma das grandes vantagens do Arduino é a sua comunidade ativa e vasta quantidade de recursos disponíveis, como tutoriais, exemplos de código e bibliotecas (Geddes, 2016). Isso facilita muito o aprendizado e o desenvolvimento de projetos, pois os usuários podem encontrar ajuda e inspiração em uma variedade de fontes.

No geral, o Arduino é uma ferramenta incrivelmente versátil e acessível para quem deseja entrar no mundo da eletrônica e da programação, sendo amplamente utilizado em projetos educacionais, de hobby e até mesmo profissionais ao redor do mundo.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa foi estruturada, utilizando-se o conceito da metodologia *Design Science Research* (Vaishnavi; Kuechler, 2021) (Figura 1).

Figura 1 - Ciclo do *Design Science Research*



Fonte: Adaptado (Vaishnavi; Kuechler, 2021)

A Metodologia *Design Science Research* (DSR) é um paradigma de pesquisa que visa a criar e a avaliar artefatos, como sistemas, modelos, métodos ou teorias, para resolver problemas específicos na prática (Dresch; Lacerda; Antunes Junior, 2015; Vaishnavi; Kuechler, 2021).

Essa abordagem é comumente aplicada em áreas como ciência da computação, sistemas de informação e engenharia de *software*, nas quais a solução de problemas práticos é fundamental (Vom Brocke; Hevner; Maedche, 2020).

A utilização do DSR visa a resolver um problema específico, mas também a contribuir para o avanço do conhecimento sobre o bem-estar animal, fornecendo insights e artefatos que podem ser utilizados na prática (Venable; Pries-Heje; Baskerville, 2016).

I - Etapa 1: A Consciência do Problema

A consciência de um problema de pesquisa pode surgir de várias fontes, incluindo novos desenvolvimentos na indústria ou identificação de problemas em uma disciplina. Os tipos de problemas relevantes para o DSR resumem-se ao esforço de pesquisa, que tende a ser focado na solução de problemas. Essa

etapa de conscientização do problema gera uma Proposta - formal ou informal - para a solução do problema.

Problema da Pesquisa: A falta de monitoramento do transporte de carga viva até o abatedouro para mensurar o bem-estar do animal (Machado; Santos, 2018).

Durante o transporte de animais para o abatedouro, são submetidos a diversas variáveis que causam desconforto ao animal, como a temperatura ambiente, a umidade relativa do ar, o espaço, o balanço do transporte durante o percurso, a sede e a fome (Lana *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2017; Sousa *et al.*, 2021).

Esses transtornos podem aumentar o nível de estresse do animal e causar desconfortos como medo, angústia e dores causadas por eventuais lesões durante o percurso. Isso pode resultar em perda de carcaças, carnes, peles e impactos negativos na economia.

II - Etapa 2: Solução

Esta etapa apresenta uma solução para o problema, baseando-se nas evidências apresentadas em artigos científicos, capítulos de livros, patentes, softwares e documentos que subsidiaram a elaboração de leis e/ou a implementação de políticas públicas, auxiliando no desenvolvimento de uma sugestão para solucionar o problema.

Solução: Utilização de dispositivos tecnológicos para monitorar e avaliar, com precisão, as condições de temperatura do ambiente, de umidade relativa do ar, de sede e de fome durante o transporte de carga viva, permitindo que o pecuarista adote técnicas e tecnologias com maior precisão para evitar perdas na produção animal e reduzir os impactos negativos na economia, como a perda de carcaças, de carnes e peles.

Optou-se pelo uso do Arduino devido à sua vasta quantidade de recursos disponibilizados, às suas bibliotecas, aos seus tutoriais e a uma comunidade ativa, o que assim facilita o seu uso no desenvolvimento do protótipo de baixo custo.

III - Etapa 3: Desenvolvimento

Nesta etapa, detalham-se as ferramentas utilizadas para a construção do protótipo, que, no DSR, é chamado de artefato (Dresch; Lacerda; Antunes Junior, 2015; Vaishnavi; Kuechler, 2021).

Desenvolvimento: Para a criação do protótipo, foram empregados os conceitos de *Design Thinking* (Li; Chen; Fu, 2024) para ilustrar as conexões entre o Arduino e os sensores de temperatura e de umidade relativa do ar. Para mais detalhes, veja-se Seção 3 - DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO.

Para o desenvolvimento do artefato, utilizou-se o Arduino Uno Rev3, *Protoboard* com 400 furos, *Jumpers* (conectores) para ligações, Sensor DHT11 (temperatura e umidade), Conversor de Nível Lógico 3,3-5V Bidirecional, Módulo RTC DS3231 e Módulo Cartão SD *Card*.

Na construção do artefato, utilizou-se o *software Fritzing* para esquema de ligações dos componentes e, para a programação das funcionalidades utilizou-se o *software* Arduino IDE.

IV - Etapa 4: Avaliação

A etapa de Avaliação verifica se o protótipo atendeu a proposta sugerida na etapa de Sugestão.

Avaliação: Realização de testes em campo, análise do comportamento esperado e validação do protótipo. Para mais detalhes, veja a Seção 3 - DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO.

Para realização do teste em um ambiente real, o projeto de pesquisa foi submetido e **APROVADO** pelo Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Paulista (CEUA/UNIP), assim cumprindo com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA). No ANEXO 1, encontra-se o certificado emitido pela CEUA/UNIP.

V - Etapa 5: Conclusão

Esta etapa apresenta os resultados obtidos, contribuindo e ampliando o conhecimento sobre o assunto estudado.

Resultados Esperados: Espera-se que o protótipo possa realizar a medição da temperatura e da umidade relativa do ar, como um primeiro passo do estudo que contribuísse para a redução das perdas por contusões ou lesões na carcaça do animal, na redução dos níveis de estresse, o que gera uma melhoria na qualidade da carne e na mitigação dos impactos negativos econômicos. Na extensão, isto gera uma maior receita para os produtores. Para a realização de cada etapa, foi seguido o quadro de atividades (Tabela 1).

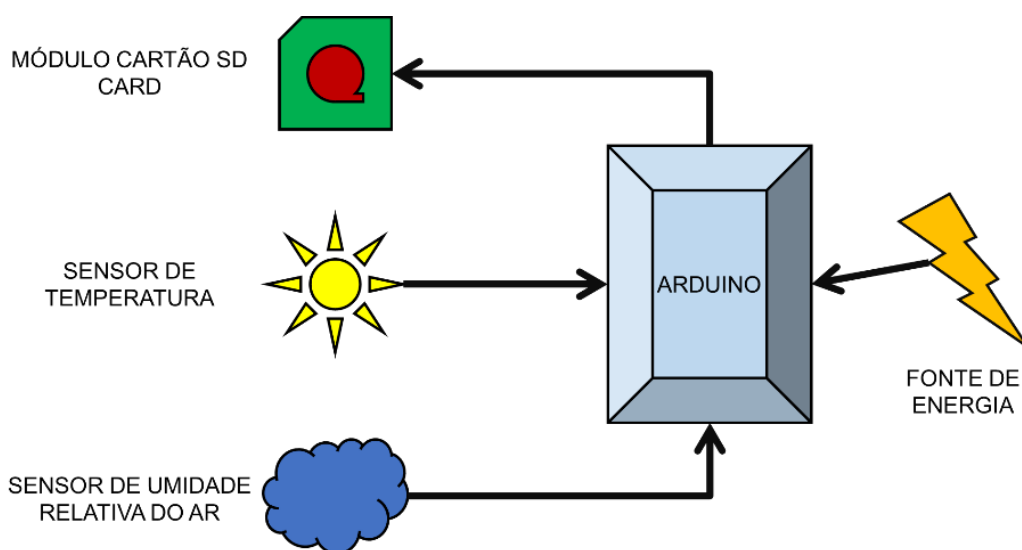
Tabela 1 - Quadro de Atividades

ATIVIDADE	DESCRIÇÃO
A1	Entendimento da problemática por meio de pesquisa em artigos científicos
A2	Definição dos componentes para o artefato
A3	Montagem dos componentes para o artefato
A4	Programação das funcionalidades
A5	Teste e Validação do funcionamento do artefato
A6	Teste do artefato em ambiente real
A7	Entrega do Relatório Técnico Conclusivo

3. DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO

O desenvolvimento do artefato iniciou-se após a compreensão do problema, e, como sugestão, utilizou-se o Arduino como fonte principal de processamento dos dados lidos pelos sensores de temperatura e de umidade relativa do ar. Para a definição dos componentes para o artefato, realizou-se uma ilustração (Figura 2) com os componentes principais utilizados para a construção do artefato do *DATALOGGER SYSTEM ANIMAL WELFARE*.

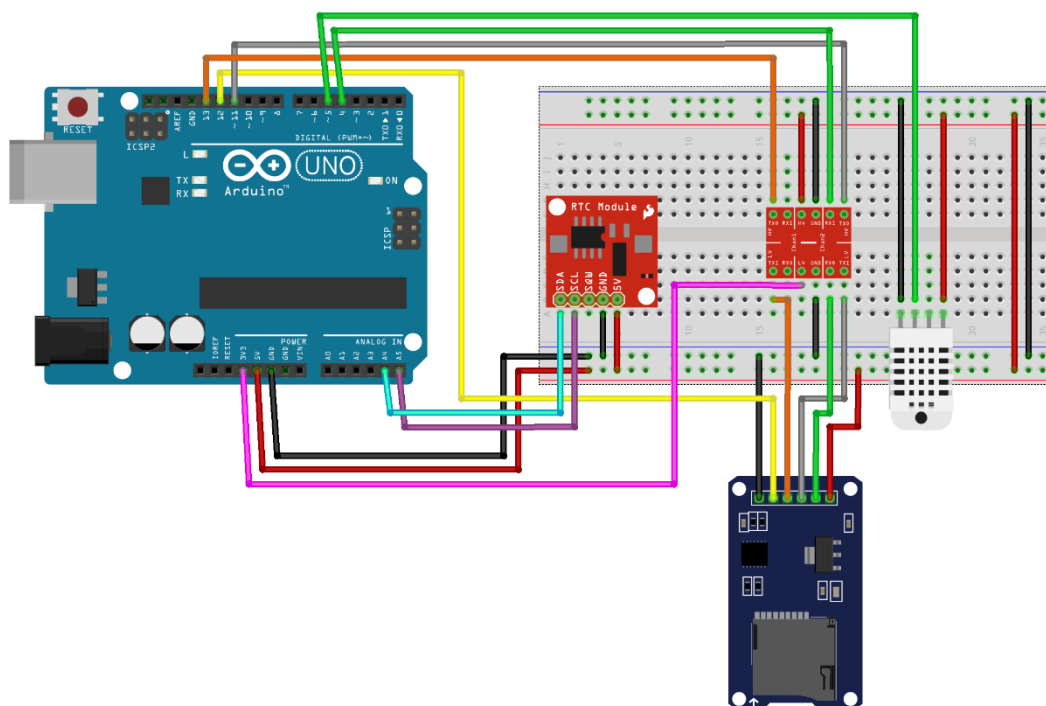
Figura 2 – Ilustração dos componentes principais do artefato



Fonte: Autor

Após o entendimento dos componentes que serão utilizados no artefato e a checagem do cenário que será testado, realizou-se o esquema de montagem dos componentes primários e secundários do artefato (Figura 3).

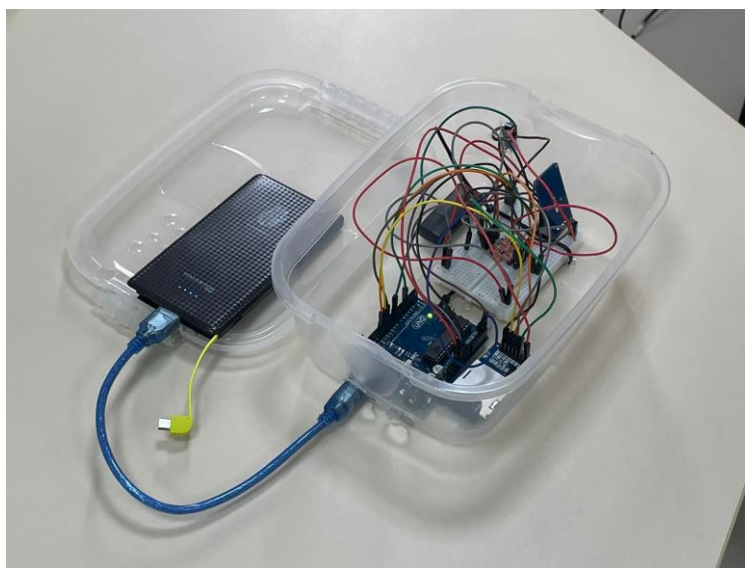
Figura 3 - Esquema de montagem dos componentes do artefato



Fonte: Autor

Posteriormente, foi realizada a montagem do artefato (Figura 4) para realização de testes e validação. No APÊNDICE 1 encontra-se o código em linguagem C que foi utilizado para teste de leitura do sensor DHT11.

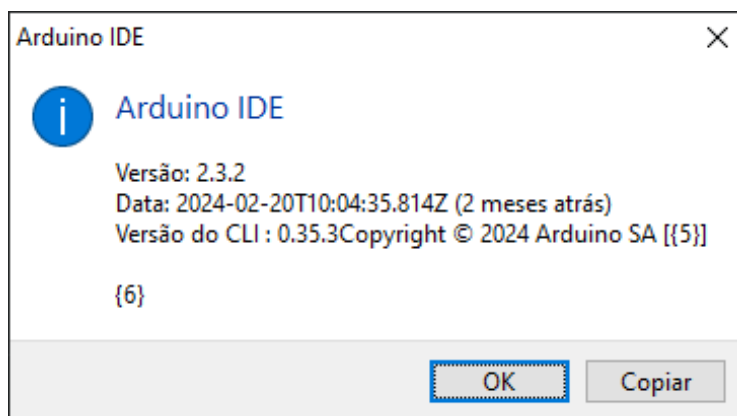
Figura 4 - Montagem do artefato



Fonte: Autor

Na atividade de Programação das funcionalidades, foi utilizado o software Arduino IDE na versão 2.3.2, lançada em 20 de janeiro de 2024 (Figura 5), e utilizou-se a linguagem de programação C para programar as ações de leitura dos dados através dos sensores de temperatura e de umidade relativa do ar, assim armazenando essas informações no cartão SD Card. No APÊNDICE 2 encontra-se o código em linguagem C do artefato.

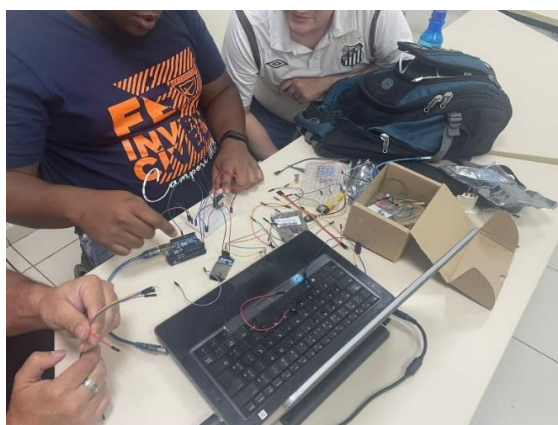
Figura 5 - Arduino IDE



Fonte: (Arduino, 2024)

No teste e validação do funcionamento do artefato, realizaram-se testes em um ambiente controlado por ar condicionado que foi a sala de aula (Figura 6), e em ambiente não controlados, áreas ao ar livre.

Figura 6 - Realização dos testes dos componentes e do artefato



Fonte: Autor

Esses testes serviram para verificar e validar se o artefato realizou o objetivo de ler a temperatura e a umidade relativa do ar (Figura 7), e de salvar os dados no cartão SD para posterior análise.

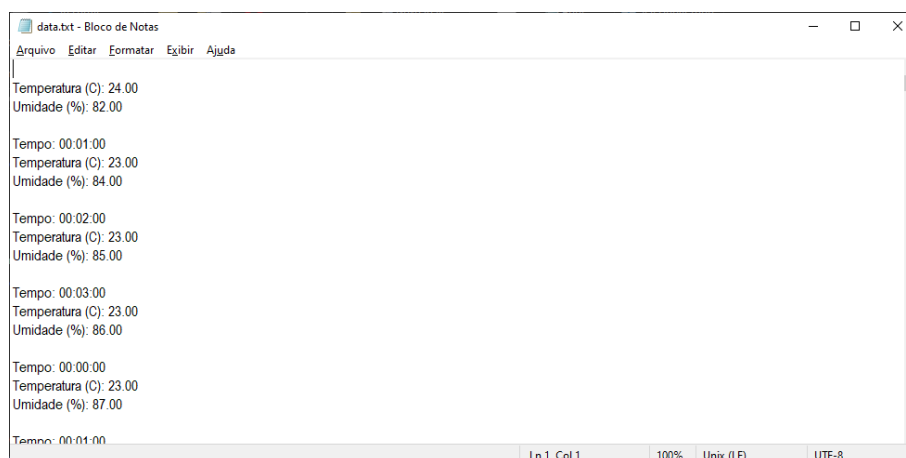
Figura 7 - Validação dos testes

```
16:34:13.117 ->
16:34:13.117 -> Iniciando a Leitura da Umidade....
16:34:14.112 -> Iniciando a Leitura da Temperatura....
16:34:15.148 -> Umidade (%): 75.00
16:34:16.135 -> Temperatura (C): 32.00
16:34:22.135 ->
16:34:22.193 -> Iniciando a Leitura da Umidade....
16:34:23.152 -> Iniciando a Leitura da Temperatura....
16:34:24.159 -> Umidade (%): 75.00
16:34:25.166 -> Temperatura (C): 32.00
16:34:31.183 ->
16:34:31.183 -> Iniciando a Leitura da Umidade....
16:34:32.190 -> Iniciando a Leitura da Temperatura....
16:34:33.190 -> Umidade (%): 73.00
16:34:34.185 -> Temperatura (C): 32.00
16:34:40.205 ->
```

Fonte: Autor

O artefato passou por inúmeros testes de eficiência energética, sendo possível atingir dois dias ininterruptos de leituras dos sensores, realizando a leitura e a salvando no SD a cada um minuto, assim atingindo o objetivo inicial proposto para o artefato (Figura 8). Para registrar as informações referentes à temperatura e à umidade relativa do ar no cartão SD, utilizou-se o tempo de 1 segundo, mas esse tempo pode ser ajustado para a leitura a cada 30 segundos, ou quando ocorrer variação da temperatura fora do conforto térmico do animal (Machado; Santos, 2018)

Figura 8 - Validação do Salvamento de Dados



```
data.txt - Bloco de Notas
Arquivo  Editar  Formatar  Exibir  Ajuda

Temperatura (C): 24.00
Umidade (%): 82.00

Tempo: 00:01:00
Temperatura (C): 23.00
Umidade (%): 84.00

Tempo: 00:02:00
Temperatura (C): 23.00
Umidade (%): 85.00

Tempo: 00:03:00
Temperatura (C): 23.00
Umidade (%): 86.00

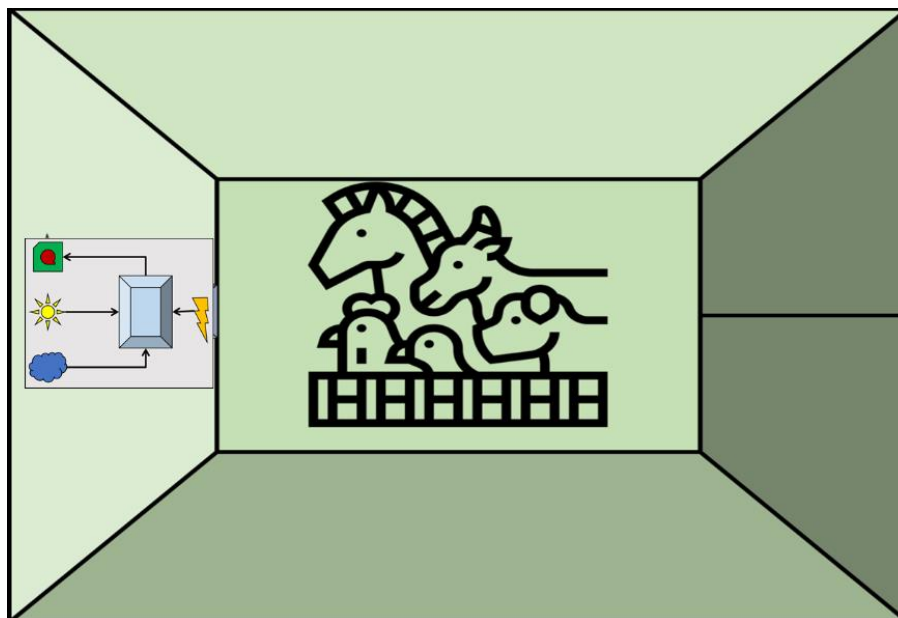
Tempo: 00:00:00
Temperatura (C): 23.00
Umidade (%): 87.00

Tempo: 00:01:00
```

Fonte: Autor

Para o teste do artefato em ambiente real, foi pensado um possível cenário de como seria realizado o teste (Figura 9).

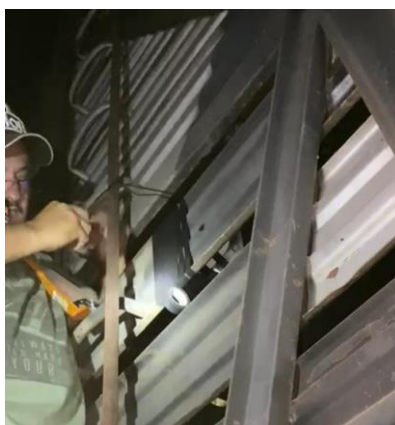
Figura 9 - Possível cenário para realização do teste em um ambiente real



Fonte: Autor

O artefato foi enviado para o estado de Mato Grosso e foi instalado em um caminhão boiadeiro de dois andares carregado de bois (Figura 10 e Figura 11). O artefato foi fixado com fita isolante na parte central do caminhão onde se concentrava um volume maior dos animais que seriam transportados.

Figura 10 - Instalação do artefato



Fonte: Autor

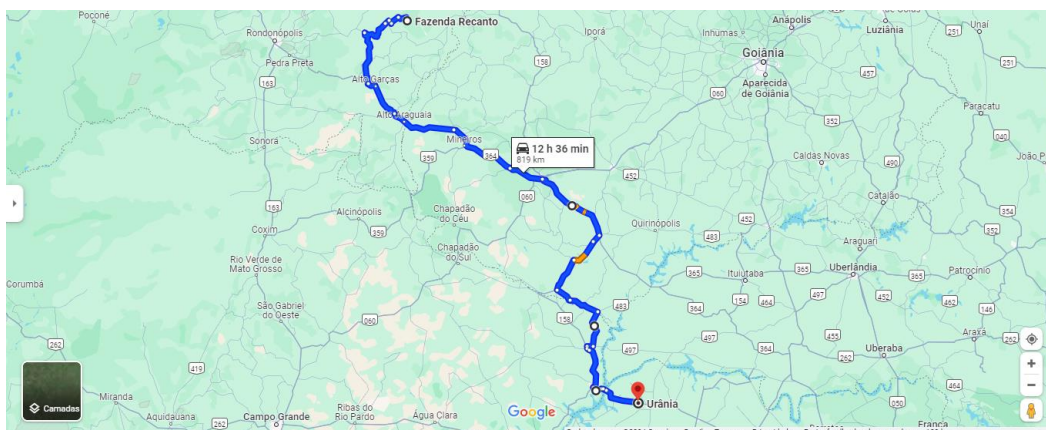
Figura 11 - Artefato instalado para o teste



Fonte: Autor

A carga com os bovinos, saiu da Fazenda Recanto, localizada no município de Guiratinga, no estado de Mato Grosso, com destino à Estância Arte de Colher o Sol, na cidade de Urânia, no estado de São Paulo, em um percurso total de 820 km (Figura 12).

Figura 12 - Possível percurso percorrido



Fonte: Google Maps

4. RESULTADOS

A análise dos resultados do teste do artefato em ambiente controlado, especificamente a sala de aula, revelou-se um sucesso significativo. Durante os testes realizados nesse ambiente, o artefato demonstrou sua capacidade de realizar medições precisas de temperatura e de umidade relativa do ar de forma consistente e confiável. Os dados coletados foram salvos adequadamente no cartão SD, conforme o esperado, o que demonstra a eficácia das funcionalidades programadas.

Esses resultados validam que o artefato em condições controladas foi capaz de desempenhar as suas funções principais conforme o planejado. A capacidade do artefato de coletar e armazenar dados no cartão SD em um ambiente controlado é um passo importante para sua aplicação prática no monitoramento do transporte de carga viva.

Além disso, o teste em ambiente controlado proporciona uma base para novas pesquisas que podem contribuir para a melhoria e otimização do artefato. Os dados obtidos durante esses testes fornecem *insights* que podem ser utilizados para aprimorar ainda mais o desempenho e a confiabilidade do artefato em condições mais desafiadoras, como em ambiente real de transporte de carga viva.

Portanto, os resultados do teste do artefato em sala de aula são promissores e indicam um progresso no desenvolvimento deste projeto. Assim, caminha-se para atingir o objetivo inicial de desenvolver um dispositivo de baixo custo que possa realizar leitura da temperatura do ambiente e umidade relativa do ar durante o transporte de carga viva.

Já o teste do artefato em ambiente real foi inconclusivo, pois não ocorreu o salvamento dos dados no cartão SD. Os motivos podem ser diversos, como alguma conexão que ficou frágil ou se soltou durante o transporte via correio, ou durante o transporte da carga com a movimentação da carreta.

5. CONCLUSÃO

Com o segundo teste sendo inconclusivo, mostrou-se que o artefato atingiu parcialmente o objetivo inicial e que ele necessita de melhorias em sua montagem e composição.

Após a etapa de teste em ambiente real, identificou-se que existem áreas do artefato que requerem melhorias. Isso pode envolver ajustes na montagem dos componentes, reforço das conexões, revisão do código de programação para garantir a coleta e o armazenamento dos dados, entre outras medidas.

Essas melhorias têm como objetivo assegurar o funcionamento do artefato em situações reais de operação, a fim de garantir a coleta dos dados durante o transporte de carga viva. Após a implementação dessas melhorias, torna-se necessário realizar um novo teste em ambiente real para validar as modificações efetuadas e garantir que o artefato atenda o objetivo esperado.

REFERENCIAS

ARDUINO. **Software**. [S. l.], 2024. Blog. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/software>. Acesso em: 1 maio 2024.

ARDUINO: THE DOCUMENTARY. Direção: Rodrigo Calvo e Raúl Alejos. [S. l.]: LABoral Centro de Arte y Creación Industrial, 2010. Documentary (28 minutos). Disponível em: <https://youtu.be/LafRw31-kw>. Acesso em: 1 ago. 2020.

BROOM, D. M. Animal welfare: concepts and measurements. **Journal of Animal Science**, [s. l.], v. 69, n. 10, p. 4167–4175, 1991.

COSTA, E. J. X. (org.). **Zootecnia de Precisão: desafios e aplicações**. 1. ed. [S. l.]: Editora Científica Digital, 2021. v. 1 Disponível em: <http://www.editoracientifica.com.br/books/isbn/978-65-5360-039-3>. Acesso em: 22 maio 2024.

DA FONSECA, F. N. *et al.* Automatic prediction of stress in piglets (Sus Scrofa) using infrared skin temperature. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s. l.], v. 168, p. 105148, 2020.

DAWKINS, M. S. Evolution and Animal Welfare. **The Quarterly Review of Biology**, [s. l.], v. 73, n. 3, p. 305–328, 1998.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JUNIOR, J. A. V. **Design Science Research**. 1. ed. Cham: Springer International Publishing, 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-07374-3>. Acesso em: 23 maio 2024.

FAWC. **Farm Animal Welfare Committee**. [S. l.], 2019. Portal. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/groups/farm-animal-welfare-committee-fawc>. Acesso em: 19 abr. 2022.

GEDDES, M. **Arduino project handbook**. San Francisco: No Starch Press, 2016.

IOE. **Terrestrial Animal Health Code**. [S. l.]: WOAH, 2023. Disponível em: <https://www.woah.org/en/what-we-do/standards/codes-and-manuals/terrestrial-code-online-access/>. Acesso em: 19 abr. 2022.

LANA, R. F. *et al.* Influence of feed withdrawal on mortality, body weight loss, fractures, bruises and contamination of carcasses in poultry slaughterhouse. **Archives of Veterinary Science**, [s. l.], v. 23, n. 1, p. 24–32, 2018.

LI, X.; CHEN, J.; FU, H. The roles of empathy and motivation in creativity in design thinking. **International Journal of Technology and Design Education**, [s. l.], v. 34, n. 4, p. 1305–1324, 2024.

MACHADO, S. T.; SANTOS, R. C. O papel do bem-estar animal e as tendências de ambiência animal. *In*: REIS, J. G. M. dos; PEDRO LUIZ DE OLIVEIRA COSTA

NETO (org.). **Engenharia de produção aplicada ao agronegócio**. São Paulo: Blucher, 2018. p. 263–290.

MCROBERTS, M. **Beginning Arduino**. New York: Apress ; Distributed to the book trade worldwide by Springer Science + Business Media, LLC, 2010. (Technology in action).

NEETHIRAJAN, S. Transforming the Adaptation Physiology of Farm Animals through Sensors. **Animals**, [s. l.], v. 10, n. 9, p. 1512, 2020.

PANDORFI, H.; ALMEIDA, G. L. P.; GUISELINI, C. Zootecnia de precisão: princípios básicos e atualidades na suinocultura. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, [s. l.], v. 13, p. 558–568, 2012.

PETERSON, E. *et al.* Use of Temperature, Humidity, and Slaughter Condemnation Data to Predict Increases in Transport Losses in Three Classes of Swine and Resulting Foregone Revenue. **Frontiers in Veterinary Science**, [s. l.], v. 4, p. 67, 2017.

PIERCE, F. J.; NOWAK, P. Aspects of Precision Agriculture. *In*: ADVANCES IN AGRONOMY. [S. l.]: Elsevier, 1999. v. 67, p. 1–85. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60513-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60513-1). Acesso em: 19 abr. 2022.

SILVA, F. V. *et al.* Welfare of lambs subjected to road transport and assessment of carcasses and meat. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, [s. l.], v. 37, n. 6, p. 630–636, 2017.

SOUSA, R. S. *et al.* Occurrence of contusions in bovine carcasses in the state of Pará due to transport. **Medicina Veterinária (Brazil)**, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 70–74, 2021.

VAINTRUB, M. O. *et al.* Review: Precision livestock farming, automats and new technologies: possible applications in extensive dairy sheep farming. **Animal**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 100143, 2021.

VAISHNAVI, V.; KUECHLER, W. Design Science Research in Information Systems. *In*: , 2021. **Anais [...]**. [S. l.]: Association for Information Systems, 2021. p. 62. Disponível em: <http://desrist.org/design-research-in-information-systems/>. Acesso em: 12 out. 2021.

VENABLE, J.; PRIES-HEJE, J.; BASKERVILLE, R. FEDS: a Framework for Evaluation in Design Science Research. **European Journal of Information Systems**, [s. l.], v. 25, n. 1, p. 77–89, 2016.

VOM BROCKE, J.; HEVNER, A.; MAEDCHE, A. Introduction to Design Science Research. *In*: VOM BROCKE, J.; HEVNER, A.; MAEDCHE, A. (org.). **Design Science Research. Cases**. Cham: Springer International Publishing, 2020. (Progress in IS). p. 1–13. Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-46781-4_1. Acesso em: 23 maio 2024.

APÊNDICE 1 – Código do teste de leitura do Sensor DHT11.

```

1 //incluir a biblioteca para o sensor DHT11
2 #include <dht11.h>
3
4 //Informa que a leitura dos dados esta na porta N° 8 do arduino
5 #define DHT11PIN 8
6
7 //declaração da variavel DHT11 do tipo dht11 (referencia ao sensor)
8 dht11 DHT11;
9
10 void setup() {
11     Serial.begin(9600);
12     Serial.println("Modelo 1\n");
13     pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
14 }
15
16 void loop() {
17     digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
18     Serial.println();
19     Serial.println("Iniciando a Leitura da Umidade....");
20     delay(1000);
21     Serial.println("Iniciando a Leitura da Temperatura....");
22     delay(1000);
23
24     int chk = DHT11.read(DHT11PIN);
25
26     Serial.print("Umidade (%): ");
27     Serial.println((float)DHT11.humidity, 2);
28     delay(1000);
29     Serial.print("Temperatura (C): ");
30     Serial.println((float)DHT11.temperature, 2);
31     delay(3000);
32
33     digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
34     delay(3000);
35 }

```

APÊNDICE 2 - Código de do Artefato

```

1  //Programa: Datalogger com Arduino, modulo RTC DS3231 e cartao SD
2  //
3
4
5  //BIBLIOTECAS
6  #include <DS3232RTC.h> // Biblioteca para o sensor RTC
7  #include <Time.h>      // Marcação da Hora e Data
8  #include <SD.h>        // Modulo SD
9  #include <dht11.h>      // Biblioteca para o sensor DHT11
10 #include <Wire.h>       // Biblioteca de conexão I2C, pino A4 e A5
11 #include <SPI.h>
12 #include <Streaming.h>
13
14
15 //DEFINIÇÃO DOS PINOS
16 #define DHT11PIN 8 // Leitura da Temperatura e Umidade Relativa do ar, na porta N° 8
do arduino
17 #define CS_PIN 4    // Porta de Comunicação com o Modulo Cartao SD, na porta N° 4 do
arduino
18
19
20 //DECLARAÇÃO
21 dht11 DHT11; //Declaração da variavel DHT11 do tipo dht11 (referencia ao sensor)
22 File file; //Declaração da variavel file do tipo FILE (referencia ao arquivo
para gravar no Cartão SD)
23 DS3232RTC RTC; //Declaração da variavel RTC do tipo DS3232RTC (referencia ao Modulo
RTC)
24
25
26 int cont = 0; //Variavel que marca a quantidade de leituras realizadas
27
28
29 void setup(void) {
30     Serial.begin(9600);
31     pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
32     inicia_SD(); //Inicializa o cartao SD
33     RTC.begin();
34
35     //Sincroniza a biblioteca Time com o RTC a cada 5 minutos
36     //setSyncProvider(RTC.get);
37     //Serial << F("\nSincronizando com o RTC...");
38     //if (timeStatus() != timeSet) Serial << F(" Falha!");
39     Serial << endl;
40 }
41
42
43 void loop(void) {
44     digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
45     delay(2000);
46
47     int chk = DHT11.read(DHT11PIN);
48
49     static time_t tLast;
50     time_t t;
51     tmElements_t tm;
52
53     Serial.print("\nIniciando a Leitura...");
54     delay(2000);
55     Serial.println(" OK!!!");
56     delay(2000);
57
58     Serial.print("Temperatura (C): ");
59     Serial.println((float)DHT11.temperature, 2);
60     delay(2000);
61
62     Serial.print("Umidade (%): ");
63     Serial.println((float)DHT11.humidity, 2);
64     delay(2000);
65
66     Serial.print("Tempo: ");
67
68     t = now();
69

```



```

70     if (t != tLast) {
71         tLast = t;
72
73         printDateTime(t);
74         delay(2000);
75
76         //Grava dados no cartao a cada 1 minuto
77         if ((second(t) != 0) || (second(t) == 0)) {
78             float c = DHT11.temperature;
79             float h = DHT11.humidity;
80
81             Serial.println();
82             Serial.print("Gravando dados no cartao SD...");
83             grava_SD(t);
84             delay(2000);
85             Serial.println(" OK!!!");
86             delay(2000);
87         }
88
89         Serial << endl;
90     }
91
92     digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
93     delay(2000);
94 }
95
96
97 //Mostra data e hora na serial
98 void printDateTime(time_t t) {
99     //printTime(t);
100
101     printI00(hour(t), ':');
102     printI00(minute(t), ':');
103     printI00(second(t), ' ');
104 }
105
106 //Grava dados no cartao SD
107 void grava_SD(time_t t) {
108     float c = DHT11.temperature;
109     float h = DHT11.humidity;
110     abre_arquivo_gravacao("datalog.txt");
111
112     file.println();
113     file.print("\nTemperatura (C): ");
114     file.println(c);
115     file.print("Umidade (%): ");
116     file.println(h);
117
118     file.print("Tempo: ");
119
120     if (hour(t) < 10) {
121         file.print("0");
122     }
123
124     file.print(hour(t));
125     file.print(":");
126
127     if (minute(t) < 10) {
128         file.print("0");
129     }
130
131     file.print(minute(t));
132     file.print(":");
133
134     if (second(t) < 10) {
135         file.print("0");
136     }
137
138     file.print(second(t));
139
140     file.print("\nLeituras: ");
141     cont = cont + 1;
142     file.println(cont);

```

```

143     fecha_arquivo();
144 }
145
146
147 //Correcao para imprimir "00" ao inves de "0" caso
148 //o valor seja menor do que 10
149 void printI00(int val, char delim) {
150     if (val < 10) Serial << '0';
151     Serial << _DEC(val);
152     if (delim > 0) Serial << delim;
153     return;
154 }
155
156 void inicia_SD() {
157     pinMode(CS_PIN, OUTPUT);
158
159     if (SD.begin()) {
160     }
161
162     else {
163         return;
164     }
165 }
166
167 int abre_arquivo_gravacao(char filename[]) {
168     file = SD.open(filename, FILE_WRITE);
169
170     if (file) {
171         return 1;
172     }
173
174     else {
175         return 0;
176     }
177 }
178
179 void fecha_arquivo() {
180     if (file) {
181         file.close();
182     }
183 }

```

ANEXO 1 – CERTIFICADO DA CEUA/UNIP



Universidade Paulista

Comissão de Ética no
Uso de Animais

CERTIFICADO

Certificamos que a proposta intitulada "APLICAÇÃO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO PARA O MONITORAMENTO DO BEM-ESTAR DE ANIMAIS DE PRODUÇÃO NO TRANSPORTE.", protocolada sob o CEUA nº 5994210922 (ID 000861), sob a responsabilidade de **João Gilberto Mendes dos Reis e equipe; Jonatas Santos de Souza** - que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica ou ensino - está de acordo com os preceitos da Lei 11.794 de 8 de outubro de 2008, com o Decreto 6.899 de 15 de julho de 2009, bem como com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi **APROVADA** pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Paulista (CEUA/UNIP) na reunião de 26/09/2022.

We certify that the proposal "APPLICATION OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY FOR MONITORING THE ANIMAL WELFARE DURING TRANSPORT", utilizing protocol number CEUA 5994210922 (ID 000861), under the responsibility of **João Gilberto Mendes dos Reis and team; Jonatas Santos de Souza** - which involves the production, maintenance and/or use of animals belonging to the phylum Chordata, subphylum Vertebrata (except human beings), for scientific research purposes or teaching - is in accordance with Law 11.794 of October 8, 2008, Decree 6899 of July 15, 2009, as well as with the rules issued by the National Council for Control of Animal Experimentation (CONCEA), and was **APPROVED** by the Ethic Committee on Animal Use of the Paulista University (CEUA/UNIP) in the meeting of 09/26/2022.

Finalidade da Proposta: Pesquisa (Acadêmica)

Vigência da Proposta: de 08/2021 a 06/2024 Área: Engenharia

São Paulo, 24 de maio de 2024

Prof. Dra. Maria Martha Bernardi
Coordenadora da Comissão de Ética no Uso de Animais
Universidade Paulista

Prof. Dr. José Guilherme Xavier
Vice-Coordenador da Comissão de Ética no Uso de Animais
Universidade Paulista



Durante os testes realizados no ambiente controlado, o artefato realizou as leituras por meio dos sensores de temperatura e de umidade relativa do ar, em sequência salvando os dados no cartão SD, atendendo a proposta apresentada no artigo 3.

No teste em ambiente real, o resultado foi inconclusivo, pois não ocorreu o salvamento dos dados no cartão SD. Os motivos podem ser diversos, como alguma conexão que ficou frágil ou se soltou durante o transporte via correio, ou durante o transporte da carga devido à movimentação da carreta.

5.5 Custo do Artefato

Sobre o custo para o desenvolvimento do artefato (Tabela 8), foi possível atingir um valor de R\$ 176,50. No mesmo valor, não está incluído o frete. Em determinados períodos, ocorrem promoções, há descontos nos preços e mesmo a inclusão de frete grátis, assim vindo a diminuir o custo do projeto. Vale ressaltar que programas utilizados, como *Fritzing* e Arduino IDE, têm versões gratuitas disponibilizadas na internet.

Tabela 8: Custo do Artefato

Ferramentas	Preço em Reais (R\$)
Arduino Uno R3	R\$ 90,00
<i>Protoboard</i>	R\$ 11,90
<i>Jumpers</i>	R\$ 13,90
Sensor DHT11	R\$ 18,00
Conversor de Nível Lógico	R\$ 5,90
Módulo RTC DS3231	R\$ 28,90
Módulo Cartão SD <i>Card</i>	R\$ 7,90
TOTAL	R\$ 176,50

Fonte: Autor

Não está sendo considerado o custo do programador (cobrado por hora) para codificar as funcionalidades. O valor pode variar, dependendo do nível de complexidade do projeto; porém, há uma comunidade do universo do Arduino bastante ativa, com tutoriais em formato de vídeo ou em texto, que podem auxiliar no desenvolvimento.

5.6 Discussões

De acordo com o estudo ([Lipovšek et al., 2024](#)), embora os funcionários dos matadouros tenham mais conhecimentos sobre o bem-estar animal em comparação com os motoristas que realizam o transporte dos animais, ambos os grupos carecem

de familiaridade adequada com a legislação e os regulamentos relacionados ao bem-estar animal em relação ao transporte. E para que a garantia do bem-estar do animal aconteça, é necessário que haja um treinamento não só do manuseio dos animais, mas também do conhecimento de normas e leis ([Lipovšek et al., 2024](#)).

Os animais são suscetíveis a vários tipos de estresse, incluindo o por calor e frio, o por fadiga, o por sede e fome prolongadas, o por restrição e o por impedimento de movimentos, o por dificuldades para descansar, o estresse social, além do de dor, de medo e de angústia ([EFSA AHAW Panel et al., 2020](#)).

Durante o transporte, os animais podem enfrentar condições climáticas muito adversas; as temperaturas podem variar de 0 a 46 °C; porém, essas adversidades podem variar de acordo com o país e com a estação do ano ([González et al., 2012](#)).

[Thodberg et al. \(2022\)](#) analisaram dados de 39 viagens comerciais e observaram que houve um aumento da temperatura quando o veículo estava parado, fazendo com que saíssem da zona de conforto térmico os animais que estavam sendo transportados.

O estudo de [Silva et al. \(2017\)](#) analisou imagens do comportamento de cordeiros durante viagens das 7h30 às 10h30 e constatou que, em viagens mais longas, os cordeiros ruminavam com mais frequência do que em viagens mais curtas, devido ao estresse causado pela fome e a sede, aumentando-se com isto a chance de lesões teciduais ([Sousa et al., 2021](#)).

Diversos estudos apresentam soluções que utilizam as TICs para monitoramento do bem-estar animal (Tabela 9), visando à diminuição do desconforto devido às condições de estresse.

Tabela 9: Estudos selecionados que usam TICs

Objetivo	Método	Referência
Avaliação do comportamento de frangos de corte, analisando-se imagens	Utilização de imagens para análise de comportamento mediante o estresse térmico	(Sevegnani <i>et al.</i> , 2005)
Análise dos efeitos da temperatura e umidade sobre as mortes de suínos durante o transporte	Análise de dados meteorológicos e sensores de temperatura	(Peterson <i>et al.</i> , 2017)
Avaliação do grau de bem-estar de cordeiros no transporte rodoviário e o impacto do estresse na carne	Análise da temperatura dentro dos caminhões dependendo da parada/movimento	(Silva <i>et al.</i> , 2017)
Desenvolvimento de um modelo para prever o estresse em leitões com base na temperatura da pele, utilizando-se um sensor infravermelho	A análise de imagens térmicas detecta condições estressantes em leitões	(Fonseca <i>et al.</i> , 2020)
Revisão sobre tecnologias para avaliação da adaptação de animais de fazenda	Análise das tecnologias de sensores usadas em fazendas	(Neethirajan, 2020)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização desse trabalho e o cumprimento do objetivo geral e os objetivos específicos evidenciam a importância de garantir o bem-estar animal durante o transporte com a utilização de ferramentas de baixo custo e acessíveis, e possibilitam mostrar ao mercado que no Brasil há pesquisas sendo realizadas em relação ao bem-estar animal.

Com os resultados preliminares, foi possível analisar que, em caráter conceitual, há utilização das tecnologias nas fazendas para monitorar e garantir o bem-estar animal.

O monitoramento do animal permite realizar operações que podem melhorar o bem-estar do animal, diminuindo o desconforto devido às condições de estresse por fome, sede e dor, assim reduzindo a perda por contusões ou lesões na carne.

A maioria dos projetos que envolvem plataformas *Open-source* Arduino visa à criação de conteúdo acadêmico ou produto/serviço a ser comercializado. A contribuição desta pesquisa é a implementação de um projeto multidisciplinar que conecta a tecnologia da informação à pecuária.

Por meio da metodologia DSR, possibilitou-se a criação do artefato para resolver o problema de maneira prática, assim diminuindo a distância e a relação entre teoria e prática.

Embora o teste em um ambiente real tenha sido inconclusivo, o artefato atingiu o resultado esperado em um ambiente controlado; porém, torna-se necessária a realização de melhorias no artefato.

O objetivo geral desta tese é o desenvolvimento de um sistema de baixo custo para o monitoramento da temperatura e da umidade relativa do ar no transporte de carga viva, com o finalidade de apresentar uma ferramenta que auxilie na manutenção do conforto térmico do animal.

Cada artigo apresentado permitiu na tese atender os objetivos específicos. O artigo 1 direcionou a pesquisa para o setor da pecuária referente ao bem-estar animal. O artigo 2 apresentou as TICs usadas nas fazendas para garantir o bem-estar animal e identificou que não há equipamentos acessíveis para garantir o mesmo bem-estar durante o transporte de cargas vivas. O artigo 3 apresentou uma proposta como solução da falta de equipamentos acessíveis que auxiliem no conforto do animal durante o transporte para o abate. O RTEC apresentou o método para o desenvolvimento do artefato.

A realização desse trabalho e o cumprimento dos propósitos evidenciaram a importância e a possibilidade do uso do artefato para garantir o conforto térmico do

animal durante o transporte, por meio de ferramentas de baixo custo. Também apresenta uma alternativa para produção animal mais sustentável com um teor de inovação para infraestrutura na indústria, assim como é proposto nas ODS.

A adoção de componentes de baixo custo torna o instrumento acessível a todos. Sua expansão demanda esforço, já que o hardware é projetado para facilitar a adição de sensores adicionais. A contribuição desta pesquisa reside na implementação de um projeto multidisciplinar que integra a tecnologia da informação à pecuária.

6.1 Sugestões de Trabalhos Futuros

Com o desenvolvimento do artefato, tornou-se possível apresentar sugestões de trabalhos futuros, adicionando-se mais recursos que complementarão a pesquisa:

1. Implementação do módulo *Bluetooth* ou WI-FI para transmissão dos dados para o celular;
2. Criação de uma aplicação *mobile*, que permita fazer ajustes pelo celular;
3. Criação de uma *dashboard*, para visualização gráfica dos dados;
4. Realização de um estudo de campo e aprofundamento teórico sobre o funcionamento de uma fazenda de produção animal, para melhoria do artefato;
5. Substituição do Arduino para uma solução com *Raspberry PI* por ter um poder de processamento maior e ter mais recursos para a escalabilidade do artefato.

A tese apresentou informações importantes que permitem ter percepções para pesquisas futuras, como o uso da inteligência artificial para análise de dados e reconhecimento de padrões de comportamento para identificar sinais do estresse do animal por meio de câmeras e de capturas de sons e do impacto mercadológico na qualidade da carne.

REFERÊNCIAS

- ALI, A. S. *et al.* Open source building science sensors (OSBSS): A low-cost arduino-based platform for long-term indoor environmental data collection. v. 100, p. 114–126, 2016. ISSN 03601323. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132316300476>>.
- APMS. **APMS 2022**. 2022. Disponível em: <<https://www.apms-conference.org/past-conferences/apms-2022/>>.
- ARDUCORE. Loja, **Jumpers Macho-Macho x40 Unidades 20CM**. 2024. Disponível em: <<https://www.arducore.com.br/jumpers-macho-macho-x40-unidades-20cm>>.
- ARDUCORE. Loja, **Módulo Sensor DHT11**. 2024. Disponível em: <<https://www.arducore.com.br/modulo-sensor-dht11>>.
- ARDUCORE. Loja, **Protoboard 400 Pontos Benzer**. 2024. Disponível em: <<https://www.arducore.com.br/protoboard-400-pontos>>.
- Arduino. Loja, **Arduino Uno Rev3**. 2024. Disponível em: <<https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>>.
- ARDUINO. Blog, **Software**. 2024. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/software>>.
- BAILEY, D. W. *et al.* Opportunities to apply precision livestock management on rangelands. v. 5, p. 611915, 2021. ISSN 2571-581X. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2021.611915/full>>.
- BASILE, F. *et al.* Omics insights into animal resilience and stress factors. v. 11, n. 1, p. 47, 2021. ISSN 2076-2615. Number: 1 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2076-2615/11/1/47>>.
- BECKER, D. M. **Gestão de custos no transporte rodoviário de cargas**. 2010. Monografia (Graduação em Administração), 2010. Accepted: 2011-06-28T06:00:23Z. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/29823>>.
- BORELI, F. P. d. O. **Efeito do estresse térmico sobre o desempenho e parâmetros fisiológicos de galinhas poedeiras**. 2024. Tese (Doutorado em Agronegócio e Desenvolvimento), 2024. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/items/2ecb2e8e-4710-4985-b3d0-49ad5c023c40>>.
- BROCKE, J. V.; HEVNER, A.; MAEDCHE, A. Introduction to design science research. In: BROCKE, J. V.; HEVNER, A.; MAEDCHE, A. (ed.). **Design Science Research. Cases**. Springer International Publishing, 2020. p. 1–13. ISBN 978-3-030-46781-4. Series Title: Progress in IS. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-46781-4_1>.

BROOM, D. M. Animal welfare: concepts and measurements. v. 69, n. 10, p. 4167–4175, 1991. ISSN 0021-8812, 1525-3163.

BROOM, D. M. Welfare concepts. In: **Encyclopedia of Animal Behavior**. Elsevier, 2019. p. 80–83. ISBN 978-0-12-813252-4. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.01321-2>>.

CALVO, R.; ALEJOS, R. **Arduino: The Documentary**. LABoral Centro de Arte y Creación Industrial, 2010. Disponível em: <<https://youtu.be/LafRwx31-kw>>.

CARVALHO, T. B. D.; ZEN, S. d. A cadeia de pecuária de corte no brasil: evolução e tendências. v. 3, n. 1, p. 85–99, 2017. ISSN 2359-5078. Disponível em: <<https://revista.ipecege.org.br/Revista/article/view/109>>.

CEPEA. Portal, **Desempenho das Exportação do Agronegócio**. 2024. Publisher: Imagenet Tecnologia. Disponível em: <<https://cepea.esalq.usp.br/br/indices-de-exportacao-do-agronegocio.aspx>>.

CEZAR, I. M. *et al.* **Sistemas de produção de gado de corte no Brasil: uma descrição com ênfase no regime alimentar e no abate**. Embrapa Gado de Corte, 2005. (Documentos, 151). ISBN 1517-3747. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/326307/sistemas-de-producao-de-gado-de-corte-no-brasil-uma-descricao-com-enfase-no-regime-alimentar-e-no-abate>>.

COLDITZ, I. G.; HINE, B. C. Resilience in farm animals: biology, management, breeding and implications for animal welfare. v. 56, n. 12, p. 1961–1983, 2016. ISSN 1836-5787. Publisher: CSIRO PUBLISHING. Disponível em: <<https://www.publish.csiro.au/an/AN15297>>.

COMEXSTAT. Base de Dados, **Carne bovina fresca, refrigerada ou congelada**. 2024. Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>>.

COSTA, E. J. X. (ed.). **Zootecnia de Precisão: desafios e aplicações**. Editora Científica Digital, 2021. Disponível em: <<http://www.editoracientifica.com.br/books/isbn/978-65-5360-039-3>>.

DAWKINS, M. S. Evolution and animal welfare. v. 73, n. 3, p. 305–328, 1998. ISSN 0033-5770, 1539-7718.

DELGADO, C. *et al.* Livestock to 2020: The next food revolution. v. 30, n. 1, p. 27–29, 2001. ISSN 0030-7270, 2043-6866. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/10.5367/000000001101293427>>.

DELGADO, C. L. Rising consumption of meat and milk in developing countries has created a new food revolution. v. 133, n. 11, p. 3907S–3910S, 2003. ISSN 00223166. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022316623025543>>.

DENADAI, J. *et al.* Efeito da duração do período de jejum pré-abate sobre rendimento de carcaça e a qualidade da carne do peito de frangos de corte. v. 4, n. 2, p. 101–109, 2002. ISSN 1516-635X. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-635X2002000200002&lng=pt&tlng=pt>.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; JUNIOR, J. A. V. A. **Design Science Research**. 1. ed. Springer International Publishing, 2015. ISBN 978-3-319-07374-3. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-07374-3>.

ECK, N. J. V.; WALTMAN, L. Visualizing bibliometric networks. *In*: DING, Y.; ROUSSEAU, R.; WOLFRAM, D. (ed.). **Measuring Scholarly Impact**. Springer International Publishing, 2014. p. 285–320. ISBN 978-3-319-10377-8. Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-10377-8_13.

EFSA AHAW Panel *et al.* Welfare of cattle at slaughter. v. 18, n. 11, 2020. ISSN 18314732, 18314732. Disponível em: <https://data.europa.eu/doi/10.2903/j.efsa.2020.6275>.

ESQUIROL-CAUSSA, J.; ALDEGUER, J. sanchez; SANTAMARIA, I. A bibliographical review: the basis of our research. v. 13, p. 33–36, 2017.

FAWC. Portal, **Farm Animal Welfare Committee**. 2019. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/groups/farm-animal-welfare-committee-fawc>.

FONSECA, F. N. d. *et al.* Automatic prediction of stress in piglets (sus scrofa) using infrared skin temperature. v. 168, p. 105148, 2020. ISSN 01681699. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168169919301693>.

FRITZING. Blog, **Fritzing**. 2019. Disponível em: <http://fritzing.org/>.

GEDDES, M. **Arduino project handbook**. [S.l.: s.n.]: No Starch Press, 2016. ISBN 978-1-59327-690-4.

GOMES, R. d. C.; FEIJÓ, G. L. D.; CHIAR, L. Nota Técnico, **Evolução e Qualidade da Pecuária Brasileira**. 2017.

GONZÁLEZ, L. A. *et al.* Relationships between transport conditions and welfare outcomes during commercial long haul transport of cattle in north america¹. v. 90, n. 10, p. 3640–3651, 2012. ISSN 0021-8812, 1525-3163. Disponível em: <https://academic.oup.com/jas/article/90/10/3640/4717904>.

HENCHION, M. *et al.* Review: Trends for meat, milk and egg consumption for the next decades and the role played by livestock systems in the global production of proteins. v. 15, p. 100287, 2021. ISSN 17517311. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1751731121001300>.

HOLST, D. von. The concept of stress and its relevance for animal behavior. *In*: MØLLER, A. P.; MILINSKI, M.; SLATER, P. J. B. (ed.). **Advances in the Study of Behavior**. Academic Press, 1998, (Stress and Behavior, v. 27). p. 1–131. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065345408603629>.

IBGE. Portal, **Rebanho de Bovinos (Bois e Vacas) no Brasil**. 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/bovinos/br>.

IMEA. Portal, **Resumo das Exportações**. 2024. Disponível em: <https://www.imea.com.br/imea-site/dashboards?c=2&d=1136864765581139968>.

IOAG. **1st International Online Conference on Agriculture - Advances in Agricultural Science and Technology**. 2022. Disponível em: <<https://sciforum.net/event/IOAG2022>>.

IOE. **Terrestrial Animal Health Code**. WOA, 2023. OCLC: 1308956605. Disponível em: <<https://www.woah.org/en/what-we-do/standards/codes-and-manuals/terrestrial-code-online-access/>>.

JUNIOR, P. C. B. *et al.* Automação residencial acessível. v. 4, n. 5, p. e4302, 2024. ISSN 2447-0961, 2764-7757. Disponível em: <<https://ojs.revistacontemporanea.com/ojs/index.php/home/article/view/4302>>.

KTU. Educational, **International Young researchers Conference "Industrial Engineering 2022"**. 2022. Disponível em: <<https://en.ktu.edu/events/international-young-researchers-conference-industrial-engineering-2022/>>.

LANA, R. *et al.* Influence of feed withdrawal on mortality, body weight loss, fractures, bruises and contamination of carcasses in poultry slaughterhouse. v. 23, n. 1, p. 24–32, 2018. ISSN 1517-784X.

LEROY, F.; PRAET, I. Meat traditions. the co-evolution of humans and meat. v. 90, p. 200–211, 2015. ISSN 01956663. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0195666315001166>>.

LI, X.; CHEN, J.; FU, H. The roles of empathy and motivation in creativity in design thinking. v. 34, n. 4, p. 1305–1324, 2024. ISSN 0957-7572, 1573-1804. Disponível em: <<https://link.springer.com/10.1007/s10798-023-09869-z>>.

LIPOVŠEK, M. *et al.* Farm animal welfare during transport and at the slaughterhouse: Perceptions of slaughterhouse employees, livestock drivers, and veterinarians. v. 14, n. 3, p. 443, 2024. ISSN 2076-2615. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2076-2615/14/3/443>>.

LOCKRIDGE, G. *et al.* Development of a low-cost arduino-based sonde for coastal applications. v. 16, n. 4, p. 528, 2016. ISSN 1424-8220. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1424-8220/16/4/528>>.

LUDTKE, C. B. *et al.* Bem-estar animal no manejo pré-abate e a influência na qualidade da carne suína e nos parâmetros fisiológicos do estresse. v. 42, p. 532–537, 2012. ISSN 0103-8478, 1678-4596. Publisher: Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cr/a/hdSdmWQnFRw58ByzN7znXYq/>>.

MACHADO, S. T.; SANTOS, R. C. O papel do bem-estar animal e as tendências de ambiência animal. *In*: REIS, J. G. M. d.; Pedro Luiz de Oliveira Costa Neto (ed.). **Engenharia de produção aplicada ao agronegócio**. [S.l.: s.n.]: Blucher, 2018. p. 263–290. ISBN 978-85-212-1262-1.

MADIAH, M. *et al.* Wix for web development and the application of the waterfall model and project based learning for project completion: A case study. v. 3, n. 2, p. 212–228, 2024. ISSN 2821-370X. Number: 2. Disponível em: <<https://journals.mmupress.com/index.php/jiwe/article/view/1001>>.

MakerHero. Loja, **DS3231 Real Time Clock RTC**. 2015. Disponível em: <https://www.makerhero.com/produto/real-time-clock-rtc-ds3231/>.

MakerHero. Loja, **Módulo Cartão SD Card**. 2015. Disponível em: <https://www.makerhero.com/produto/modulo-cartao-sd-card/>.

MakerHero. Loja, **Conversor de Nível Lógico 3,3-5V Bidirecional**. 2024. Disponível em: <https://www.makerhero.com/produto/conversor-de-nivel-logico-33-5v-bidirecional/>.

MAPA (ed.). **Boas práticas de manejo, embarque**. MAPA, 2013. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/producao-animal/boas-praticas-de-producao-animal/transporte-de-animais-vivos>.

MAPA. Portal, **Legislação e Normas**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sanidade-animal-e-vegetal/saude-animal/rastreabilidade-animal/legislacao-e-normas>.

McRoberts, M. **Beginning Arduino**. [S.l.: s.n.]: Apress ; Distributed to the book trade worldwide by Springer Science + Business Media, LLC, 2010. (Technology in action). OCLC: ocn630509635. ISBN 978-1-4302-3240-7.

Michaelis. **Estresse**. Editora Melhoramentos Ltda., 2024. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/estresse/>.

NASSAR, V.; SAMPAIO, T. L.; VIEIRA, M. L. H. A rastreabilidade aplicada à cadeia de produção agropecuária. v. 5, n. 1, p. 98–114, 2015. ISSN 2236-417X. Publisher: Centro de Ciências Sociais Aplicadas Section: Perspectivas em Gestão & Conhecimento. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5112314>.

NEDERHOF, E.; SCHMIDT, M. V. Mismatch or cumulative stress: Toward an integrated hypothesis of programming effects. v. 106, n. 5, p. 691–700, 2012. ISSN 0031-9384. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031938411005634>.

NEETHIRAJAN, S. Transforming the adaptation physiology of farm animals through sensors. v. 10, n. 9, p. 1512, 2020. ISSN 2076-2615. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-2615/10/9/1512>.

OKUBO, Y. OECD Science, Technology and Industry Working Papers, **Bibliometric Indicators and Analysis of Research Systems: Methods and Examples**. 1997. 70 p. Series: OECD Science, Technology and Industry Working Papers Volume: 1997/01. Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/bibliometric-indicators-and-analysis-of-research-systems_208277770603.

OLIVEIRA, A. A. A. d. **Desenvolvimento de um kit didático para utilização de Arduino com componentes eletrônicos de forma preventiva para aulas práticas de robótica**. 2024. Dissertação (Mestrado em Tecnologia), 2024. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1384592>.

OLIVEIRA, R. F. M. D. *et al.* 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. v. 35, n. 3, p. 797–803, 2006. ISSN 1516-3598. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982006000300023&lng=pt&tlng=pt>.

PANDORFI, H.; ALMEIDA, G. L. P.; GUISELINI, C. Zootecnia de precisão: princípios básicos e atualidades na suinocultura. v. 13, p. 558–568, 2012. ISSN 1519-9940. Publisher: UFBA - Universidade Federal da Bahia. Disponível em: <<http://www.scielo.br/j/rbspa/a/zrsddbNQGp5mTkDLnRGmFLm/?lang=pt>>.

PAUTASSO, M. Ten simple rules for writing a literature review. v. 9, n. 7, p. e1003149, 2013. ISSN 1553-7358. Disponível em: <<https://dx.plos.org/10.1371/journal.pcbi.1003149>>.

PETERSON, E. *et al.* Use of temperature, humidity, and slaughter condemnation data to predict increases in transport losses in three classes of swine and resulting foregone revenue. v. 4, p. 67, 2017. ISSN 2297-1769. Disponível em: <<http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fvets.2017.00067/full>>.

PIERCE, F. J.; NOWAK, P. Aspects of precision agriculture. In: **Advances in Agronomy**. Elsevier, 1999. v. 67, p. 1–85. ISBN 978-0-12-000767-7. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60513-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60513-1)>.

PIMENTEL, M.; FILIPPO, D.; SANTOS, T. M. D. Design science research: pesquisa científica atrelada ao design de artefatos. v. 3, n. 1, p. 37–61, 2020. Artwork Size: 37-61 Páginas Publisher: RE@D - Revista de Educação a Distância e Elearning. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/lead_read/article/view/21898>.

SANTOS, T. S. C. d.; SCAPUSSIM, T. A. d. S. **Tecnologias utilizadas no setor de transporte**. 2023. Trabalho de conclusão de curso (Curso Técnico em Logística), 2023. Accepted: 2024-05-09T20:00:32Z Publisher: 125. Disponível em: <<https://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/18490>>.

SARAH, A. *et al.* Learning IoT: Basic experiments of home automation using ESP8266, arduino and XBee. In: **2020 IEEE International Conference on Smart Internet of Things (SmartIoT)**. IEEE, 2020. p. 290–294. ISBN 978-1-72816-514-1. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9192394/>>.

SEVEGNANI, K. B. Zootecnia de precisão: Desafios para a produção animal. In: _____. **Tecnologia e Inovação na Agricultura: aplicação, produtividade e sustentabilidade em pesquisa**. 1. ed. Editora Científica Digital, 2023. v. 1, p. 258–271. ISBN 978-65-5360-317-2. Disponível em: <<http://www.editoracientifica.com.br/articles/code/221010479>>.

SEVEGNANI, K. B. *et al.* Zootecnia de precisão: análise de imagens no estudo do comportamento de frangos de corte em estresse térmico. v. 9, n. 1, p. 115–119, 2005. ISSN 1415-4366. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662005000100017&lng=pt&tlng=pt>.

SILVA, A. L. d. *et al.* Transporte de carga viva de bovinos na exportação: uma análise de sua dinâmica. *In: Logística 4.0 e a Sociedade do Conhecimento*. [S.l.: s.n.], 2019. v. 4, p. 1–10. ISBN 2357-9684.

SILVA, F. V. *et al.* Bem-estar dos cordeiros submetidos ao transporte rodoviário e avaliação das carcaças e carnes. v. 37, n. 6, p. 630–636, 2017. ISSN 0100-736X. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-736X2017000600630&lng=pt&tlng=pt>.

SILVA, J. P. d. *et al.* Classification of piglet (sus scrofa) stress conditions using vocalization pattern and applying paraconsistent logic *et.* v. 166, p. 105020, 2019. ISSN 01681699. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168169919301681>>.

SOUSA, R. S. *et al.* Ocorrência de contusões em carcaças bovinas no estado do Pará em função do transporte. v. 15, n. 1, p. 70–74, 2021. ISSN 2675-6617, 1809-4678. Disponível em: <<http://www.journals.ufrpe.br/index.php/medicinaveterinaria/article/view/2268>>.

SOUZA, J. S. d. **Horta Paraconsistente: Um Modelo de Sistema de Irrigação de Horta Caseira Baseado na Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial Et.** 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), 2021. Disponível em: <<https://repositorio.unip.br/wp-content/uploads/taimacan-items/198/86610/JONATAS-SANTOS-DE-SOUZA.pdf>>.

SOUZA, J. S. d. *et al.* Utilization of the open-source arduino platform to control based on logic *et.* *In: NAKAMATSU, K. et al. (ed.). Advanced Intelligent Technologies for Industry*. [S.l.: s.n.]: Springer Nature, 2022. (Smart Innovation, Systems and Technologies), p. 3–15. ISBN 978-981-16-9735-7.

SOUZA, J. S. d.; REIS, J. G. M. d. Proposal of a model for animal welfare monitoring in long-distance transport to the slaughterhouse. *In: International Young researchers Conference “Industrial Engineering 2022”*. [S.l.: s.n.]: KTU Faculty of Mechanical Engineering and Design, 2022. p. 7.

SOUZA, J. S. d. *et al.* A bibliometric overview over smart farming. *In: IOCAG 2022*. MDPI, 2022. p. 28. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2673-4583/10/1/28>>.

STEINFELD, H. The livestock revolution—a global veterinary mission. v. 125, n. 1, p. 19–41, 2004. ISSN 03044017. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304401704001943>>.

STEPHEN, B.; MICHIE, C.; ANDONOVIC, I. Remote sensing in agricultural livestock welfare monitoring: Practical considerations. *In: Wireless Sensor Networks and Ecological Monitoring*. 1. ed. Springer Berlin Heidelberg, 2013, (Smart Sensors, Measurement and Instrumentation, 3). p. 179–193. ISBN 978-3-642-36365-8. Series Title: Smart Sensors, Measurement and Instrumentation. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-36365-8_7>.

THODBERG, K. *et al.* Temperature conditions during commercial transportation of cull sows to slaughter. v. 192, p. 106626, 2022. ISSN 01681699. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168169921006438>>.

THOMAS, K. **O homem e o mundo natural : mudanças de atitude em relação às plantas e aos animais (1500-1800)**. [S.l.: s.n.]: Companhia das letras, 2010. ISBN 978-85-359-1597-6.

TOZONI-REIS, M. F. d. C. **Metodologia da Pesquisa Científica**. 2. ed. [S.l.: s.n.]: IESDE Brasil S.A., 2009. ISBN 978-85-7638-905-7.

VAINTRUB, M. O. *et al.* Review: Precision livestock farming, automats and new technologies: possible applications in extensive dairy sheep farming. v. 15, n. 3, p. 100143, 2021. ISSN 17517311. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1751731120301452>.

VAISHNAVI, V.; KUECHLER, W. Design science research in information systems. *In: . Association for Information Systems*, 2021. p. 62. Disponível em: <http://desrist.org/design-research-in-information-systems/>.

VENABLE, J.; PRIES-HEJE, J.; BASKERVILLE, R. FEDS: a framework for evaluation in design science research. v. 25, n. 1, p. 77–89, 2016. ISSN 0960-085X, 1476-9344. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1057/ejis.2014.36>.

ZUPIC, I.; ČATER, T. Bibliometric methods in management and organization. v. 18, n. 3, p. 429–472, 2015. ISSN 1094-4281, 1552-7425. Disponível em: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1094428114562629>.