

# Tecnologias não-invasivas para avaliação do comportamento, estresse e bem-estar animal



Palestra apresentada no Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola (COMBEA/2023)



**Luciane Silva Martello**  
Professora Associada  
**Departamento de Engenharia de Biosistemas**

Ribeirão Preto/SP – 18 de Outubro de 2023



# Luciane Silva Martello

Zootecnista



**LAZP**

**Coordenadora do Laboratório  
de Zootecnia de Precisão  
(ZEB/FZEA/USP)**

# Sumário

01

## Produção animal

Cenário e tendências

02

## Zootecnia de Precisão

Conceitos e abordagens das tecnologias não-invasivas

03

## Bem-estar animal

Zootecnia de precisão no bem-estar animal; Indicadores

04

## Tecnologias não-invasivas: Bovinos

Tecnologias para avaliação de bovinos

05

## Tecnologias não-invasivas: suínos

Tecnologias para avaliação de suínos

06

## Considerações finais

Perspectivas e desafios da ZP para apoiar o BEA

# Perspectivas relacionadas ao consumo de produtos de origem animal

01

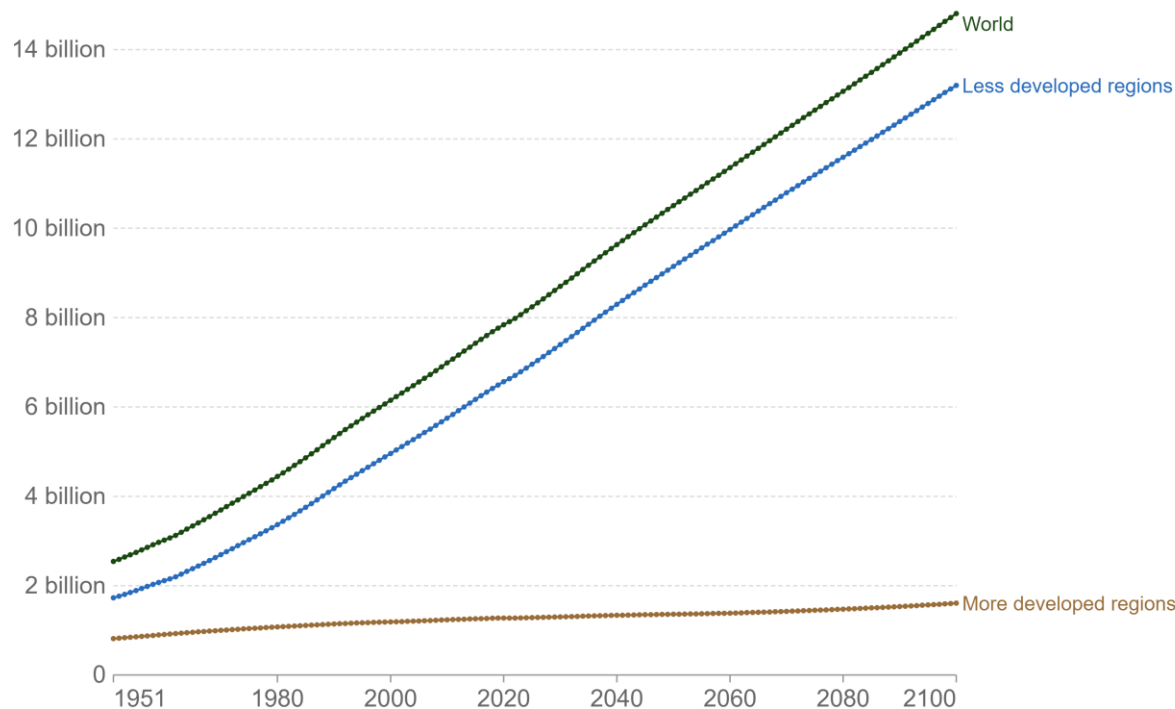
## Produção animal

Cenário e tendências

### Population, 1951 to 2100

Projections from 2022 onwards are based on the UN's high-fertility scenario.

Our World  
in Data



Source: United Nations, World Population Prospects (2022)

CC BY

Fonte: Our World in Data, 2023



Carne e leite: fontes de nutrientes essenciais para a saúde humana.



Expectativa de aumento da população mundial até 2100.



Aumento da renda e da urbanização, principalmente nos países em desenvolvimento.



Tendência crescente da demanda por proteínas de origem animal.

01

01

Mercado global  
crescente e  
competitivo.

02

Intensificação  
da produção  
animal  
intensificando  
para atender  
questões  
econômicas e  
mercadológicas

03

Exigências para  
que a produção  
animal  
considere  
aspectos éticos  
e sociais  
relacionadas ao  
bem-estar  
animal e à  
sustentabilidade

04

Aumento das  
exigências dos  
consumidores e  
da legislação  
podem limitar o  
crescimento de  
pequenos e  
médios  
produtores

05

Concentração  
da produção  
em unidades  
maiores

## Produção animal

Cenário e tendências

01

## Produção animal

Cenário e tendências

05

Concentração  
da produção  
em unidades  
maiores

- Unidades com um grande número de animais
- Mão-de-obra limitada
- Aumento dos riscos à saúde e ao BEA
- Exigência produção mais eficiente
- Demanda soluções viáveis: economia de tempo e monitoramento animal

# Tendências nos sistemas de produção

01



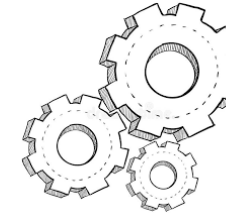
## PERFIL DO PRODUTOR

- ❖ Modelo de gestão empresarial
- ❖ disposto empregar tecnologias no processo produtivo

## CHALLENGE

## DESAFIO

Buscar soluções (gestão e produção) para melhorar produtividade e o bem-estar/saúde sobre uma base sustentável e baixo custo



## EQUIPAMENTOS

Cresce a demanda por sistemas informatizados/ automatizados e aplicados ao sistema produtivo

## Produção animal

Cenário e tendências

# Linha do tempo da aplicação de tecnologias no setor pecuário

01

Anos 50/60



**Produção animal**

Cenário e tendências

- ❖ Grande volume exportações
- ❖ Desenvolvimento genética, nutrição
- ❖ Brasil: necessidades de tecnologias próprias

Anos 90



- ❖ Gestão de sistemas pecuários – TI
- ❖ Sem interface com os animais
- ❖ Sistemas de apoio à decisão – indicadores econômicos

A partir de 2000



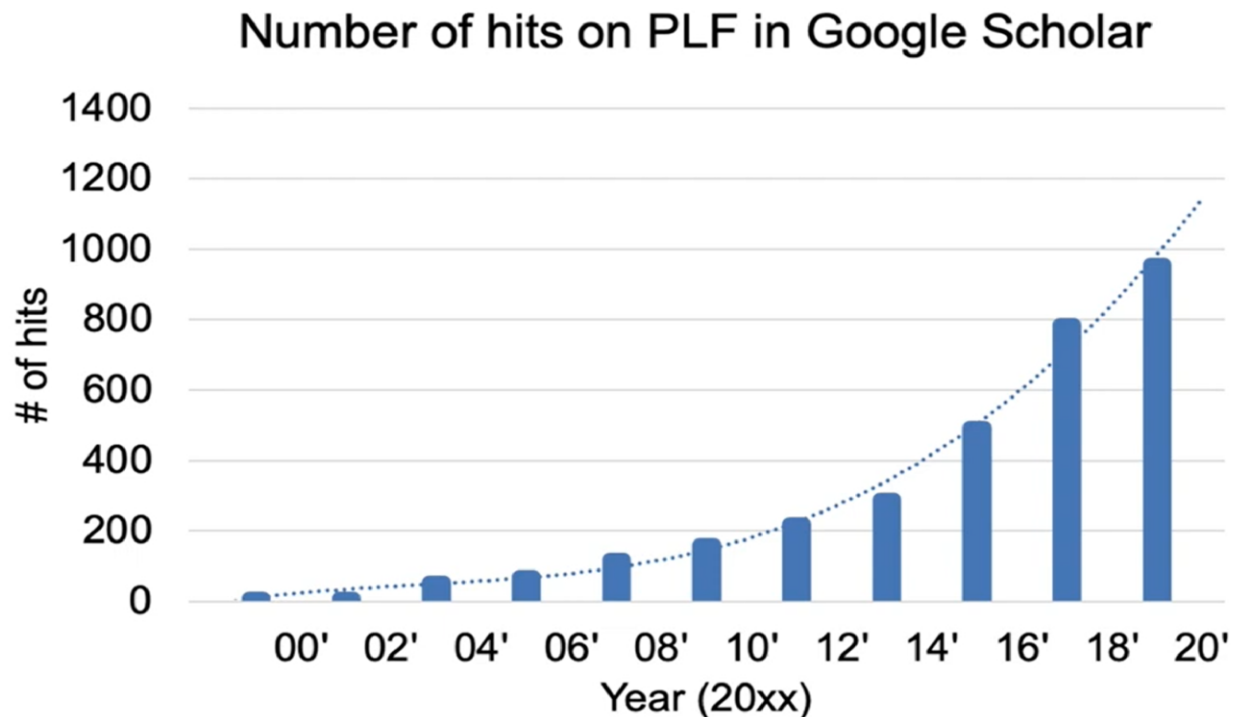
- ❖ Animais como parte processo

A partir de 2014



- ❖ Interesse exponencial para desenvolvimento de tecnologias

## Precision Livestock Farming (PLF)



Fonte: Dr. Zhao Yang (VII Workshop de Ambiência de Precisão/2021/Campinas)

- ❖ Zootecnia de Precisão (ZP)
- ❖ Pecuária de Precisão
- ❖ *Precision Livestock farming (PLF)*
- ❖ *Precision Animal farming*
- ❖ Agricultura 4.0;
- ❖ Agricultura Digital
- ❖ Abordagem individual animal baseada em sensores (*Sensor-based Individual Animal approach*)
- ❖ *Tecnologias não-invasivas para avaliação animal*

## Zootecnia de Precisão - Conceitos

02

Zootecnia de  
Precisão

Conceitos e  
abordagens

“Tecnologias de **monitoramento em tempo real** destinadas a **gerenciar a menor unidade** de produção gerenciável: abordagem animal individual baseada em sensores”

“Ferramentas eficientes para **monitorar animais** para **melhorar seu bem-estar e otimizar** o uso de **recursos**, como alimentação , água, terra e trabalho humano”

Berckmans et al., 2017

Halachmi et al., 2016

# Abordagens das Tecnologias para Zootecnia

02

## Zootecnia de Precisão

Conceitos e abordagens

### POR ASSUNTO

- ❖ BEA
- ❖ Saúde animal
- ❖ Produção e reprodução
- ❖ Sustentabilidade
- ❖ Saúde humana

### POR CARACTERÍSTICA

- ❖ Locomoção
- ❖ Vocalização
- ❖ Fisiologia
- ❖ Comportamento animal (postura, atividade, temperamento)
- ❖ Comportamento animal (preferência)

### POR TIPO DE TECNOLOGIA

- ❖ Sensores vestíveis
  - Bovinos, bubalinos, equinos
- ❖ Sensores para monitorar grupos
  - Suínos, peixes e aves
- ❖ Equipamentos e robôs
  - Alimentação
  - Limpeza
  - Climatização
  - Ordenhadeiras

### POR ABRANGÊNCIA

- ❖ Comercial / disponível no mercado;
- ❖ Protótipos;
- ❖ Centros de pesquisa em desenvolvimento

## Bem-estar para animais de produção: Desafios

Monitoramento contínuo da saúde e BEA de grandes grupos de animais

03

### Bem-estar animal

Ferramentas de  
avaliação do bem-  
estar animal;  
Indicadores

### Bem-estar de animais de produção: Por que é importante?

- Grande número de animais envolvidos
- Completamente sobre o domínio humano
- Considerados como mercadorias durante muito tempo
- No Brasil: - condições heterogêneas, não tem sistema único de produção  
- maior produtor mundial de carne

# Ferramentas computacionais para apoiar a ciência do BEA

03

## Bem-estar animal

Ferramentas de avaliação do bem-estar animal;  
Indicadores

Artificial Intelligence



Machine Learning



Neural Networks



Deep Learning



Tecnologias na área de Inteligência Artificial - têm impulsionado avanços na avaliação de dados e construção de sistemas inteligentes.

## Indicadores mais aplicados em ferramentas para avaliação de BEA

03

- ❖ Fisiologia
- ❖ Comportamento
- ❖ Produção/Reprodução
- ❖ Fatores Ambientais/  
Meteorológicos

expressam



- ❖ Doenças
- ❖ Dor
- ❖ Desconforto (estresse  
térmico)
- ❖ Emoções negativas/  
frustração/medo
- ❖ Fome/sede

### Bem-estar animal

Ferramentas de  
avaliação do bem-  
estar animal;  
Indicadores

Ideal: avaliar mais de uma característica  
Preferencialmente: incluir indicadores baseado na resposta animal

## Resposta animal: fisiológica/comportamental

03

### Característica Animal

### Resposta BEA

Padrão comportamento postural	→	Estresse térmico, doenças
Deslocamento/locomoção	→	Doenças (laminite, mastite)
Atividades	→	Cio, doenças
Temperatura corporal	→	Doenças, cio, estresse térmico, mastite, laminite

B  
E  
A

### Bem-estar animal

Ferramentas de avaliação do bem-estar animal;  
Indicadores

### Desafio:

- Associar características x Resposta BEA – nível/score da resposta
- Determinar parâmetros limitantes – espécie/categoria animal

# Indicadores (característica animal) – Resposta (BEA/Doença) - Parâmetros

03

## Bem-estar animal

Ferramentas de avaliação do bem-estar animal;  
Indicadores

Comportamentais			Fisiológicas
COMPORTAMENTO	ATIVIDADE	LOCOMOÇÃO	TEMPERATURAS
<ul style="list-style-type: none"><li>❖ Ingestivo</li><li>❖ Hídrico</li><li>❖ Postura</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>❖ Socialização</li><li>❖ Ócio</li><li>❖ Monta</li><li>❖ Briga</li><li>❖ Repouso</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>❖ Assimetria marcha</li><li>❖ Curvatura costas</li><li>❖ Balanço cabeça</li><li>❖ Velocidade</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>❖ Superfície corporal</li><li>❖ Temperatura retal</li><li>❖ Temperatrua ruminal</li></ul>
	<ul style="list-style-type: none"><li>❖ Frequência evento</li><li>❖ Duração evento</li><li>❖ Padrão diário/turno</li><li>❖ Variação do padrão</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>❖ Cinética</li><li>❖ Cinemática</li><li>❖ Ângulo</li><li>❖ Tempo/distância</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>❖ Média</li><li>❖ Máxima</li><li>❖ Mínima</li><li>❖ Desvio</li></ul>

# Principais tecnologias aplicadas e estudadas em bovinos

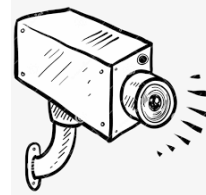
04

**Tecnologias não-invasivas: Bovinos**



## SISTEMAS VESTÍVEIS

- ❖ Sistema de posicionamento global (GPS)
- ❖ Sensores temperatura (colares, brincos, bolus, pedômetros)
- ❖ Microfones (colares)
- ❖ Brincos identificação eletrônica (RFID)



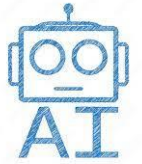
## SENSORES DE GRUPO

- ❖ Câmeras 2D (RGB)
- ❖ Sensores de imagem de profundidade (câmeras 3D, Kinect)
- ❖ Sensores infravermelho
- ❖ Microfones



## EQUIPAMENTOS

- ❖ Cochos eletrônicos
- ❖ Ordenhadeiras robóticas
- ❖ Drones



## FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

Principalmente baseadas em IA e técnicas aplicadas na área de Visão Computacional.

## Sensores vestíveis: Vários níveis de complexidade

04

Sensor acoplado colar	Avaliação tempo em pé e ruminando.	Detecta mudanças no padrão alimentação/ruminação	Steensels et al, 2017
Pedômetro + colar + brinco	Avaliação movimento da cabeça/ posturas em pé e deitado	Determinam alimentação, ruminação, caminhada, ofego,, pastejo	Thorup et al., 2016
Diversos sensores: bolus, sensor timpânico, brinco	Avaliação temperatura corporal	Detecta estresse térmico, distúrbio alimentar	Hoffmann et al (220) - revisão

**Tecnologias não-invasivas: Bovinos**

Vantagem: para aqueles com avaliação em tempo real  
Desafio: da conectividade para animais à campo e custo

## Sensores vestíveis

04

### Zootecnia de Precisão

Tecnologias para avaliação de bovinos

- ❖ Acelerômetros são os mais populares - vários níveis de complexidade.
- ❖ Monitoram diferentes parâmetros fisiológicos, comportamentais e produtivos.
- ❖ Estudos demonstram muita variabilidade de resultados (Hoffmann et al., 2020):
  - ❖ Descontinuidade
  - ❖ Interferência na transmissão dados
  - ❖ Pode ser perdido

## Sensores de Grupo: Câmeras vídeo imagem, RGB, 2D, 3D, Imagem infravermelho

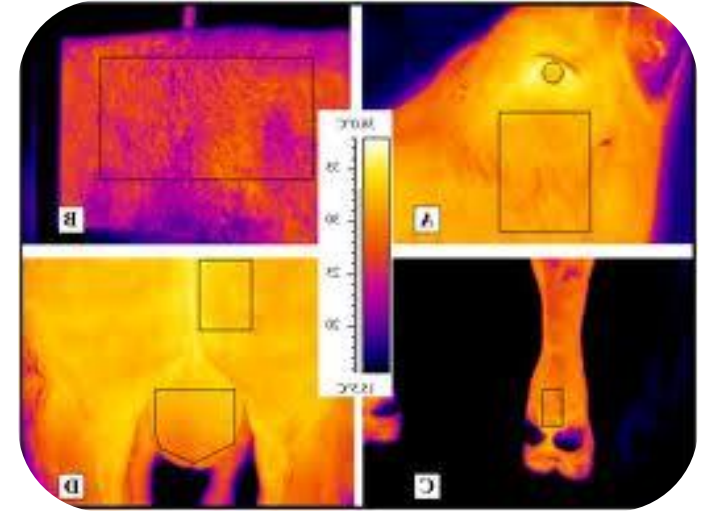
04

Tecnologias não-invasivas: Bovinos

Tecnologias	Características	Parâmetros	Resposta animal	Nível complexidade	Autores
Imagem RGB Vista topo	Comportamento alimentar e atividade	Tempo de repouso e períodos descanso	Distúrbios alimentares	Sem automação	Ito et al., 2010
Imagens 2D Vista lateral	Deslocamento	Medição pista	Claudicação	Sem automação	Song et al., 2008
Imagens 2D Vista lateral	Deslocamento	Curvatura do arco posterior	Claudicação	Sem automação	Poursaberi et al. (2010)
Imagens térmicas e 3D	Deslocamento	Curvatura do arco posterior	Claudicação	Segmentação automatizada	Halachimi et al., 2008

# Sensores de grupo: camera termográfica ou sensores térmicos

04



Tecnologias não-  
invasivas: Bovinos

Técnica não invasiva,  
capaz de captar o  
calor emitido pela  
superfície dos animais.

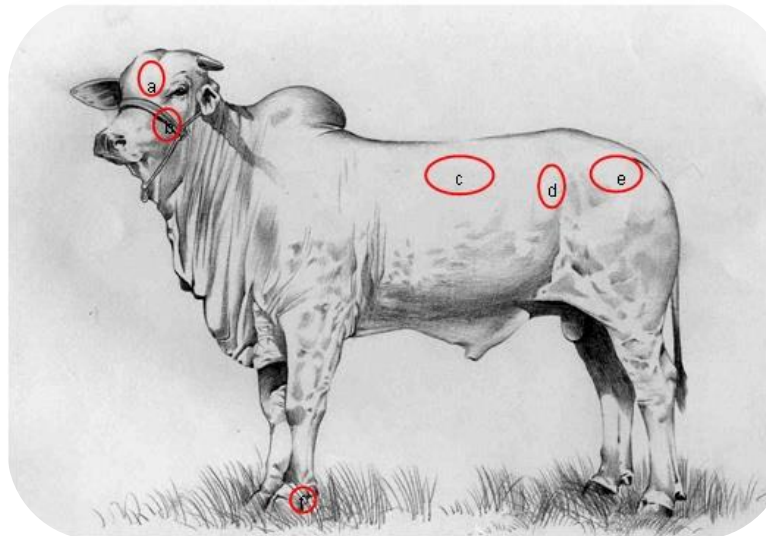
## VANTAGENS

- ❖ Facilidade de utilização;
- ❖ Rapidez para geração de dados;
- ❖ Não – invasiva;
- ❖ Elevado potencial automação

# Estudos com imagens térmicas – Termografia x estresse térmico

04

Tecnologias não-invasivas: Bovinos



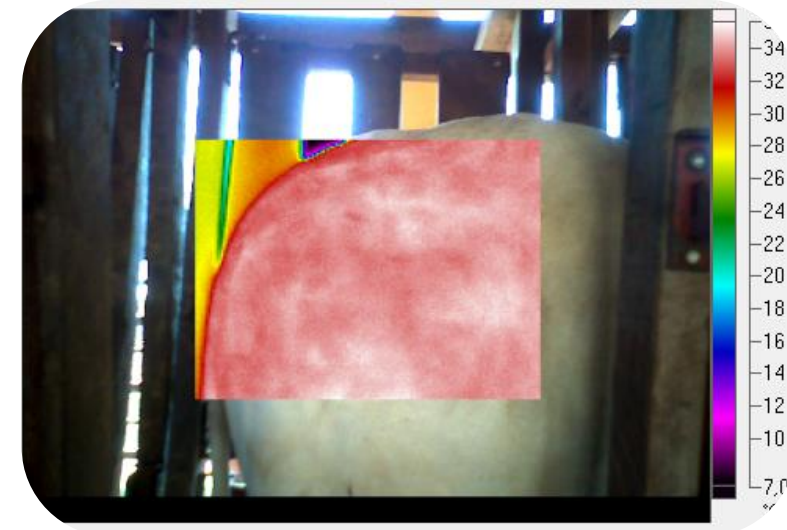
**Entender:** Correlações entre as características de termorregulação (TR e FR) e meteorológicas;

Qual a melhor área corporal do animal que reflita às condições de armazenamento do calor interno.

Qual interferência dos horários de coleta

Qual interferência das características do pelame

Variação da TSC em função da categoria, raça, nível de produção



Fonte: Martello, 2012

# Sensores de grupo: camera e sensores térmicos

04

Tecnologias não-  
invasivas: Bovinos

**Table 3 – Overview of the representative regions of cattle body temperature based on IRT.**

Reference	IRT camera	Distance	Evaluation Days	Number of samples	ROI
Hoffmann et al. (2013)	OPTRIS®PI 160	0.3–0.4 m	2	22 cows and 9 calves	Eye, back of the ear, shoulder, vulva
Cuthbertson et al. (2019)	FLIR A310, FLIR T420	2 m	?	120 mixed breed cattle	Eye
Salles et al. (2016)	FlukeTi20TM	0.2 m, 1 m	35	24 Jerseyheifers	Left and right eye area, right and left eye, caudal left foreleg, cranial left foreleg, right and left flank, and forehead
Uddin et al. (2021)	FLIR E40	1 m	90	50 cows	Right and left eye, right and left the forelimbs
Wang et al. (2022b)	FLIR A310	1.8 m	?	50 cows	Eye
Gloster et al. (2011)	Fluke TIR1	1–2 m	?	19 healthy cattle	Eye and hoof

Fonte: Wang et al., 2023

## Desafios:

- ❖ Alta variabilidade das condições de coleta dados: distância, condições ambientais, raças;
- ❖ Pequeno número de animais avaliados

# Sensores de grupo: cameras e sensores térmicos

04

Table 3 – Overview of the representative regions of cattle body temperature based on IRT.

Reference	IRT camera	Distance	Evaluation Days	Number of samples	ROI
Hoffmann et al. (2013)	OPTIKON 300	0.3–0.4 m	2	22 cows and 9 calves	Eye, back of the ear, shoulder, rump
Caldwell et al. (2016)	FLIR A310, FLIR T420	2 m	7	120 mixed breed cattle	Eye
Salles et al. (2016)	FlukeTi20TM	0.2 m, 1 m	35	24 Jerseyheifers	Left and right eye area, right and left eye, caudal left foreleg, cranial left foreleg, right and left flank, and forehead
Wang et al. (2016)	FLIR A310	1.8 m	7	20 cows	Eye
Chen et al. (2012)	Fluke T81	1–2 m	7	20 healthy cattle	Eye and head

Tecnologias não-invasivas: Bovinos

# Sensores de grupo: cameras e sensores térmicos

Journal of Thermal Biology 62 (2016) 63–69

Contents lists available at ScienceDirect



Journal of Thermal Biology

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/jtherbio](http://www.elsevier.com/locate/jtherbio)

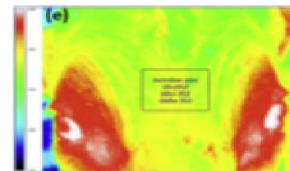
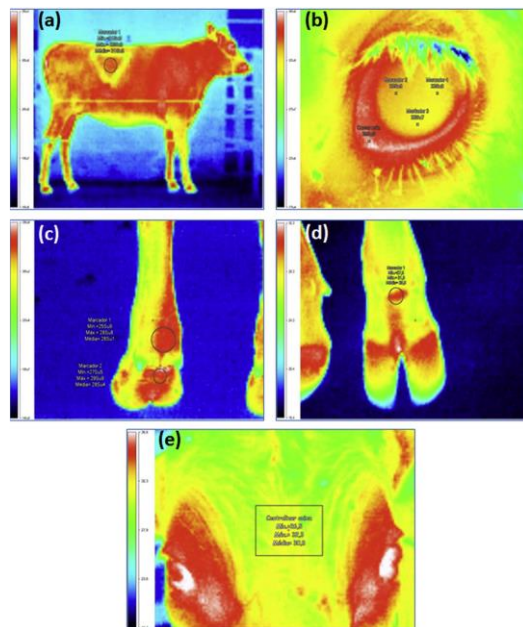
**Table 2**

Descriptive statistics of the environmental variables, physiological and infrared thermography (IRT, °C) obtained during the trial period (6–8 a.m.).

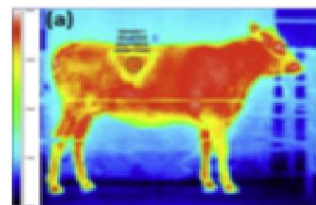
Variables	Mean	Minimum	Maximum	Standard derivation
Temperature and humidity index	64.34	59.03	68.45	3.53
Heart rate	79.86	66.00	102.00	7.33
Respiratory rate	34.30	24.00	48.00	5.88
Rectal temperature	37.99	37.10	38.50	0.28
IRT right flank	30.12	26.00	33.00	1.60
IRT left flank	30.17	26.80	33.20	1.56
IRT right eye area	36.82	35.30	37.80	0.44
IRT right eye	33.57	31.67	35.53	0.68
IRT left eye area	36.88	35.80	37.80	0.45
IRT left eye	33.50	30.43	35.27	0.82
IRT caudal left foreleg (marker 1)	30.52	27.20	33.20	1.43
IRT caudal left foreleg (marker 2)	30.38	26.50	33.10	1.48
IRT cranial left foreleg	29.33	23.80	33.60	2.00
IRT forehead	28.40	24.50	31.50	1.73

## Mapping the body surface temperature of cattle by infrared thermography

Marcia Saladini Vieira Salles<sup>a,\*</sup>, Suelen Corrêa da Silva<sup>a</sup>, Fernando André Salles<sup>a</sup>, Luiz Carlos Roma Jr.<sup>a</sup>, Lenira El Faro<sup>a</sup>, Priscilla Ayleen Bustos Mac Lean<sup>b</sup>, Celso Eduardo Lins de Oliveira<sup>b</sup>, Luciane Silva Martello<sup>b</sup>



Fronte: e TR  
( $r = 0,35$ )



Flanco e FR  
( $r = 0,48$ )

Diferentes áreas corporais:  
parâmetro TSC em condições de  
temperatura ambiente de conforto.  
correlações entre variáveis

04

Tecnologias não-  
invasivas: Bovinos

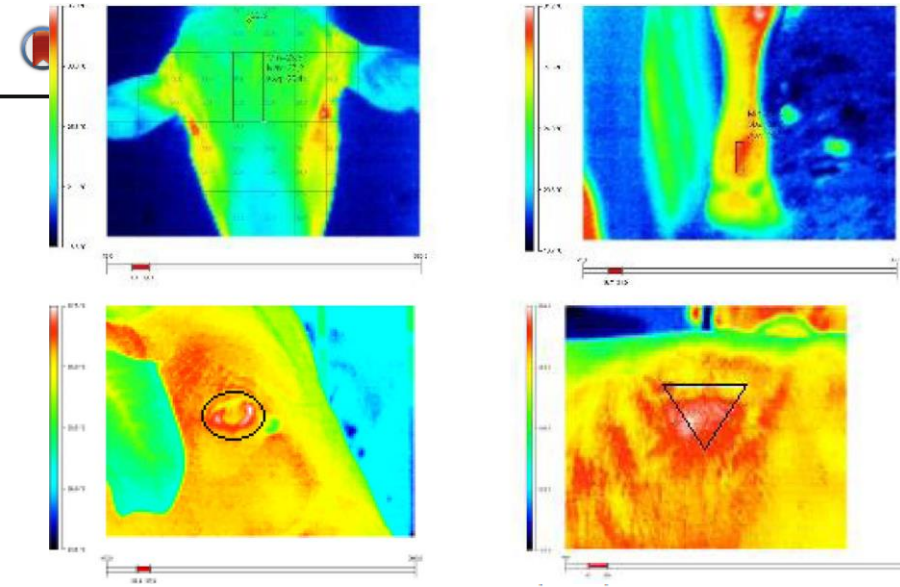
# Sensores de grupo: cameras e sensores térmicos

Int J Biometeorol (2016) 60:173–181  
DOI 10.1007/s00484-015-1015-9

ORIGINAL PAPER

## Infrared thermography as a tool to evaluate body surface temperature and its relationship with feed efficiency in *Bos indicus* cattle in tropical conditions

Luciane Silva Martello<sup>1</sup> · Saulo da Luz e Silva<sup>2</sup> · Rodrigo da Costa Gomes<sup>3</sup> ·  
Rosana Ruegger Pereira da Silva Corte<sup>2</sup> · Paulo Roberto Leme<sup>1</sup>



**Table 4** Correlations between infrared thermography traits of different areas (IRT), rectal temperature (RT), and respiratory frequency (RF)

Traits	IRT front	IRT cheek	IRT eye	IRT ocular area	IRT ribs	IRT flank	IRT rump	IRT feet
RT	0.60*	0.59*	0.43*	0.52*	0.59*	0.59*	0.58*	0.55*
RF	0.47*	0.43*	0.37*	0.35*	0.45*	0.45*	0.45*	0.45*

\* $p < 0.01$

Nelore: confinamento  
TA: 22° - 31°C

Fonte: Martello et al. 2016

04

Tecnologias não-  
invasivas: Bovinos

# Sensores de grupo: cameras e sensores térmicos

04

Tecnologias não-invasivas: Bovinos

**Table 4 – Cattle health assessment method based on IRT and ML.**

Reference	Breed of cattle	Algorithms	Contribution	Measures	Results
Ruchay et al. (2022)	Bull	- Linear regression model	- Body weight estimation	Wither height and hip height	- R <sup>2</sup> : 0.713
Pacheco et al. (2022)	Lactating cows (Holstein)	- Convolutional neural network (CNN)	- Thermal condition classification	- Database labelled according to three respiratory rate; - Database labelled according to three rectal temperature	- Accuracy: 76% - Accuracy: 71%
de Sousa et al. (2016)	Feedlot finishing cattle	- Fuzzy Logic (FC)	- Thermal stress assessment and classification	- Temperature of body parts collected by IRT	- Consistency: 83.2%
Altay and Delialioglu (2022)	Simmental cattle	- Random forest algorithm	- Lameness classification	- Hoof bottom temperature and digital colour characteristics	- Accuracy: 85%
Zhang, Kang, et al. (2019)	Holstein cows	- SVM - Threshold discrimination	- Image segmentation; - Mastitis classification	- Thermal image of cow walking	- Recognition accuracy within 30 pixels: 88.13% - Classification accuracy: 87.5%
Guo, Yang, et al. (2022)	Lactating holstein cows	- Linear planing method, temperature fitting equation	- Mastitis classification	- Thermal images of cows' udders	- Recognition accuracy of healthy cows: 76%, Recognition accuracy of sick cows: 75%
Wang et al., 2022c	Lactating holstein cows	- You only look once v5 (YOLOv5) - Threshold discrimination	- Cow eyes and udder detection - Mastitis classification	- Thermal images including eyes and udders (3000)	- mAP: 96.1% - Accuracy: 87.62%, specificity: 84.62%, and sensitivity: 96.30%
Barbedo et al. (2017)	Brangusbreed (heifers and young bulls)	- Thermal image processing algorithm	- Detection of cattle ticks	- Thermographic images (400)	- Correlation: 0.619
Jaddoa et al. (2021)	Holstein Cattle	- Histogram oriented gradient (HOG), SVM, threshold processing	- Eye segmentation	- Thermograms covering the complete animal body (700)	- Sensitivity: 0.9780, precision 0.7212, F measure of 0.8024

Fonte: Wang et al., 2023 – Journal of Byossystems Engineering

# Sensores de grupo: cameras e sensores térmicos

04

**Table 6 – Cattle health assessment method based on RT and ML.**

Reference	Kind of cattle	Algorithms	Characteristics	Measurements	Results
Pacheco et al. (2022)	Lactating cows (Holstein)	- Convolutional neural network (CNN)	- Thermal condition classification	- Database labelled according to three respiratory rate; - Database labelled according to three rectal temperature	- Accuracy: 76% - Accuracy: 71%
de Sousa et al. (2016)	Feedlot finishing cattle	- Fuzzy Logic (FC)	- Thermal stress assessment and	- Temperature of body parts collected by IRT	- Consistency: 83.2%
Cheng, Yang, et al. (2018)	Lactating cows	- SVM - Threshold - Discrimination	- Classification	- Thermal image of cow walking	- Recognition accuracy within 40 pixels: 98.1% - Classification accuracy: 97.5%
Yan, Yang, et al. (2022)	Lactating Holstein cows	- Color grading method, regression fitting, logistic	- Health classification	- Thermal images of udder udder	- Recognition accuracy of healthy cows: 75%, through the accuracy of each cow: 75%
Yang et al., 2020	Lactating Holstein cows	- The only task used is SVM - Threshold - Discrimination	- Cow type and udder detection	- Thermal images including cow and udder (200)	- SVM: 96.2% - Accuracy: 91.6%, speed: 50% - F1: 96.2%, and speed: 50%
Belkadi et al. (2017)	Integrated thermal and image data	- Thermal image processing algorithm	- Detection of cattle	- Thermographic images (200)	- Correlation: 0.92
Yadav et al. (2019)	Intensive cattle	- Histogram oriented gradient (HOG), SVM, threshold processing	- Cow segmentation	- Thermographic images for cow pose around body (200)	- Sensitivity: 0.986, precision: 0.994, F1 score: 0.990

Tecnologias não-invasivas: Bovinos

Fonte: Wang et al., 2023 – Byossystems Engineering

# Sensores de grupo: cameras e sensores térmicos

Computers and Electronics in Agriculture 127 (2016) 176–183

04



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

## Computers and Electronics in Agriculture

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/compag](http://www.elsevier.com/locate/compag)



Original papers

Development and evaluation of a fuzzy logic classifier for assessing beef cattle thermal stress using weather and physiological variables



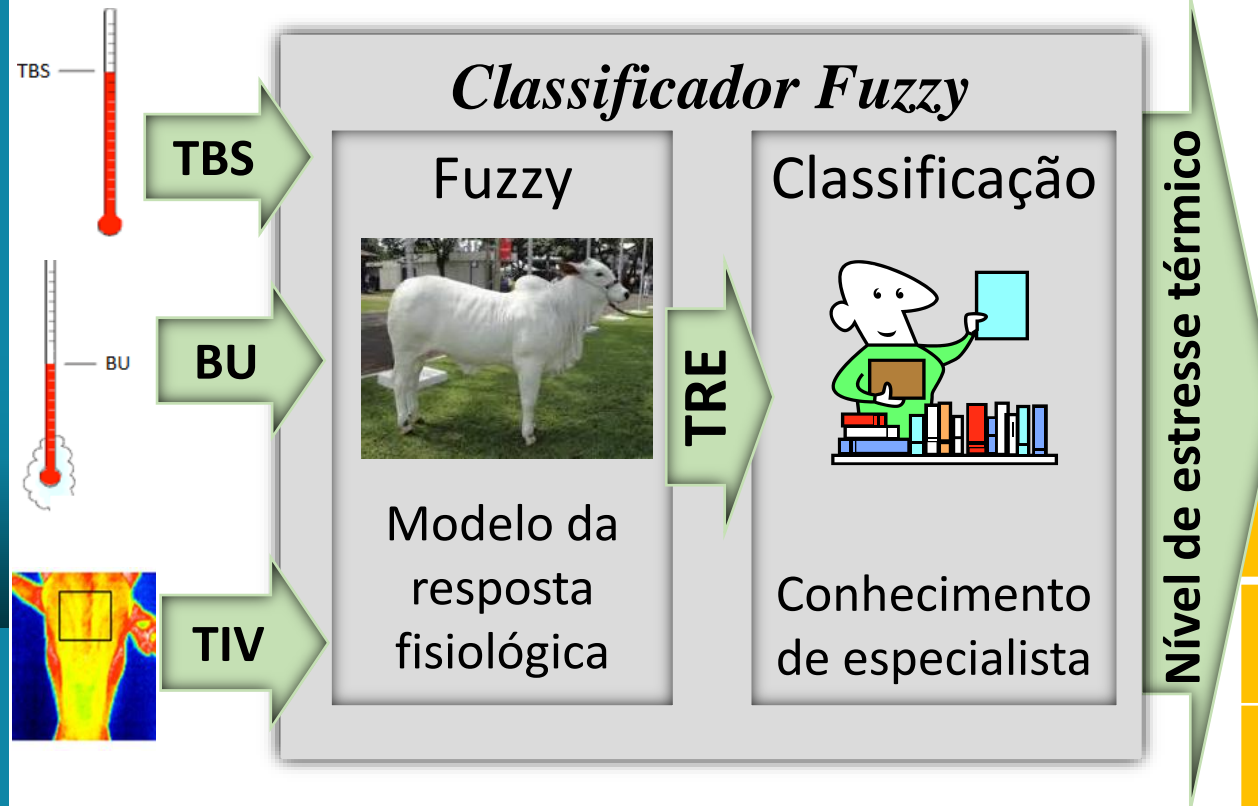
Rafael Vieira de Sousa <sup>\*</sup>, Tatiana Fernanda Canata, Paulo Roberto Leme, Luciane Silva Martello

**Tecnologias não-invasivas: Bovinos**

# Sensores de grupo: cameras e sensores térmicos

04

Tecnologias não-invasivas: Bovinos



CFE	Conforto	Crítico	Perigo	Total
TR				
Conforto	84,5%	3,2%	0,7%	88,4%
Crítico	9,7%	0,9%	0,1%	10,7%
Perigo	0,7%	0,1%	0,0%	0,9%
Total	94,9%	4,4%	0,8%	100%

ITU	Conforto	Crítico	Perigo	Emergência	Total
TR					
Conforto	20,1%	37,3%	28,5%	2,4%	88,4%
Crítico	0%	2,2%	7,2%	1,2%	10,7%
Perigo	0%	0,1%	0,7%	0,1%	0,9%
Total	20,07%	39,6%	36,45%	3,7%	100%

# Sensores de grupo: cameras e sensores térmicos

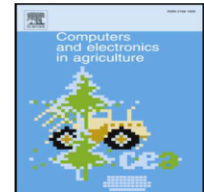
Computers and Electronics in Agriculture 144 (2018) 37–43



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

## Computers and Electronics in Agriculture

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/compag](http://www.elsevier.com/locate/compag)



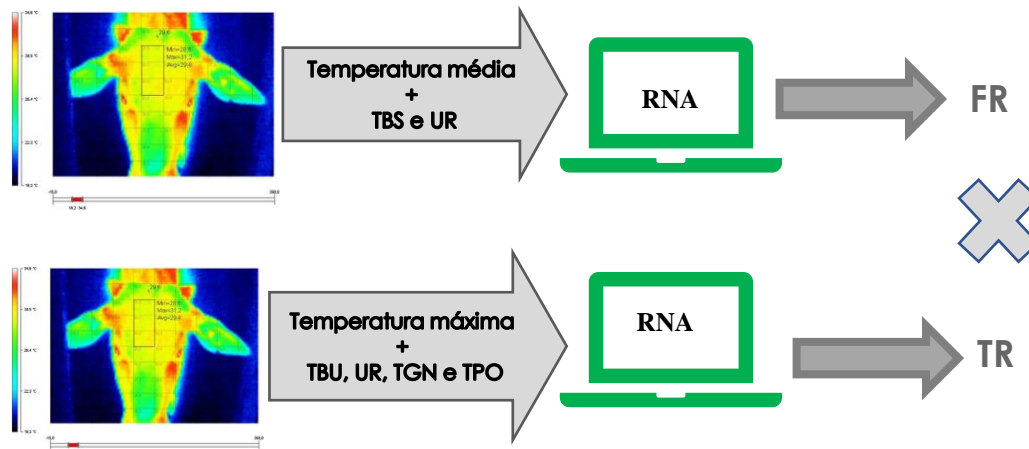
Original papers

### Predictive model based on artificial neural network for assessing beef cattle thermal stress using weather and physiological variables



Rafael Vieira de Sousa, Alex Vinicius da Silva Rodrigues, Mariana Gomes de Abreu, Rubens Andre Tabile, Luciane Silva Martello\*

Tecnologias não-invasivas: Bovinos



Saídas	Modelos		Classificadores		
	RNA	REG	RNA	ITU	ITGU
	<i>Correlações</i>		<i>Acurácias</i>		
FR	0,86	0,83	83%	50%	68%
TR	0,84	0,74	84%	44%	69%

# Sensores de grupo: cameras e sensores térmicos

04

Tecnologias não-invasivas: Bovinos

Livestock Science 241 (2020) 104244



Contents lists available at ScienceDirect

Livestock Science

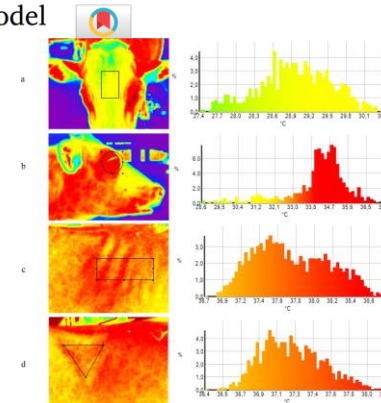
journal homepage: [www.elsevier.com/locate/livsci](http://www.elsevier.com/locate/livsci)



RNA + RR e RT  
TBS e UR

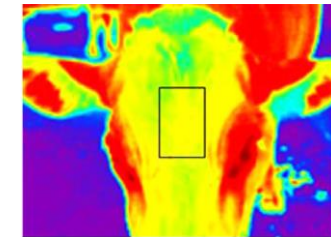
Thermal imaging combined with predictive machine learning based model for the development of thermal stress level classifiers

Verônica Madeira Pacheco, Rafael Vieira de Sousa\*, Alex Vinicius da Silva Rodrigues, Edson José de Souza Sardinha, Luciane Silva Martello



## Bovinos de leite

- Dados da TSC + TBS para estimar RR e RT
- Segmentação da área intesse manual
- Acurácia 83% (RR) e 84% (RT)



RT e RR= 0,55 -0.72

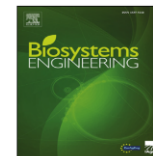
BIOSYSTEMS ENGINEERING 221 (2022) 154–163



Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

ScienceDirect

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/issn/15375110](http://www.elsevier.com/locate/issn/15375110)



CNN + RR e RT

Research Paper

**Deep learning-based model classifies thermal conditions in dairy cows using infrared thermography**



- Imagens termográficas (18.510)
- Classificadas em níveis de estresse (RR e RT)
- Acurácia 76% (RR) e 70,5% (RT)

# Estudos com equipamentos: avaliação consume hídrico

04

Tecnologias não-invasivas: Bovinos



Consumption, productivity and cost: Three dimensions of water and their relationship with the supply of artificial shading for beef cattle in feedlots

Taisla Inara Novelli<sup>a</sup>, Bianca Freire Bium<sup>a</sup>, Carlos Henrique Cogo Biffi<sup>b</sup>, Maria Erika Picharillo<sup>c</sup>, Natália Spolaore de Souza<sup>b</sup>, Sérgio Raposo de Medeiros<sup>d</sup>, Julio Cesar Pascale Palhares<sup>d,\*</sup>, Luciane Silva Martello<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos/USP -SP, Av. Duque de Caxias Norte, 225. Campus Fernando Costa- USP, CEP:13635-900, Pirassununga, SP, Brazil

<sup>b</sup> Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/n, Jaboticabal, SP, CEP:14884-900, Brazil

<sup>c</sup> Departamento de Zootecnia na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queirós"- USP, Av. Pádua Dias, 11 Cx. Postal 9, Piracicaba, SP, CEP:13418-900, Brazil

<sup>d</sup> Embrapa Pecuária Sudeste, Rod. Washington Luiz km 234, São Carlos, SP, 13560-970, Brazil

Table 2

Water consumption and water saving to live weight and carcass weight unit references per production cycle.

Feedlot <sup>a</sup>	Water consumption to LW (L)		Water consumption to CW (L)		Water saving (L)	
	Without Shade	Shade	Without Shade	Shade	Live weight	Carcass
500	1,582,619	1,469,396	1,583,359	1,470,022	113,224	113,337
1000	3,165,239	2,938,791	3,166,718	2,940,043	226,448	226,675
5000	15,826,194	14,693,956	15,833,589	14,700,215	1,132,239	1,133,374
10,000	31,652,388	29,387,911	31,667,178	29,400,430	2,264,477	2,266,748
15,000	47,478,583	44,081,867	47,500,767	44,100,645	3,396,716	3,400,122
20,000	63,304,777	58,775,823	63,334,356	58,800,860	4,528,954	4,533,496

<sup>a</sup> Number of animals in feedlot.

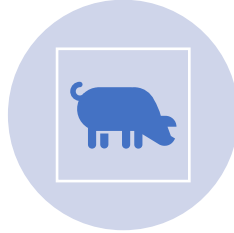


- ❖ Impacto do uso ou não de sombra no consumo e na economia de água:
  - ❖ economia de 7,2% para todos os tamanhos de confinamento.
  - ❖ Uso de sombra artificial reduziu consumo hídrico

# Principais tecnologias não-invasivas aplicadas para SUÍNOS

05

Tecnologias não-invasivas: Suínos



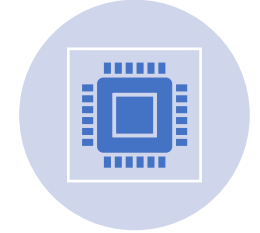
SENSORES VESTÍVEIS:  
LIMITADO AO USO DE  
BRINCOS  
(IDENTIFICAÇÃO  
ELETRÔNICA - (RFID)



SENSORES DE GRUPO:  
CÂMERAS 2D (RGB),  
SENSORES DE IMAGEM  
DE PROFUNDIDADE  
(CÂMERAS 3D, KINECT),  
SENSORES  
INFRAVERMELHO,  
MICROFONES.



EQUIPAMENTOS:  
COCHOS ELETRÔNICOS E  
EQUIPAMENTOS  
CLIMÁTICOS



FERRAMENTAS  
COMPUTACIONAIS:  
PRINCIPALMENTE  
BASEADAS EM IA E  
APLICADAS NA ÁREA DE  
VISÃO  
COMPUTACIONAL.



# Sensores de grupo: Dados de imagens

05

Tecnologias não-invasivas: Suínos

## Camera-based analysis for individual classification of pigs.

PLF systems	Area of focus	Reference
Camera-based image data analysis	Movement Tracking	Ahrendt et al. (2011) Kashiha et al., 2013a; Kashiha et al., 2013b; Kashiha et al., 2014a; (Kashiha et al., 2014b) ) Nasirahmadi et al. (2016) Gangsei and Kongsro (2016) Kim et al. (2017) Guo et al. (2017) Brünger et al. (2018) Jun et al. (2018) Zhang et al. (2018) Chen et al. (2019) Xiao et al. (2019)
	Individual detection/ monitoring	McFarlane and Schofield (1995) Nilsson et al. (2015) Lu et al. (2018) Psota et al. (2019) Sa et al. (2019) Lee et al. (2019)(Lee et al., 2019) Li et al. (2019)
	Lying behaviours detection Facial features identification	(Nasirahmadi et al., 2019b) Shao and Xin (2008) Hansen et al. (2018)



Review article

An overview of the current trends in precision pig farming technologies

Christos Tzanidakis<sup>a,\*</sup>, Panagiotis Simitzis<sup>b</sup>, Konstantinos Arvanitis<sup>c</sup>, Panagiotis Panagakis<sup>a</sup>

## Sensores de camera:

- Rastreamento do movimento
- Extração de dimensões corporais
- Detecção de esmagamento leitões utilizando técnicas de análise de imagem
- Comportamento postural
- Identificação características da face.

## Sensores de grupo: Dados de imagens – massa corporal

05

Tecnologias não-  
invasivas: Suínos

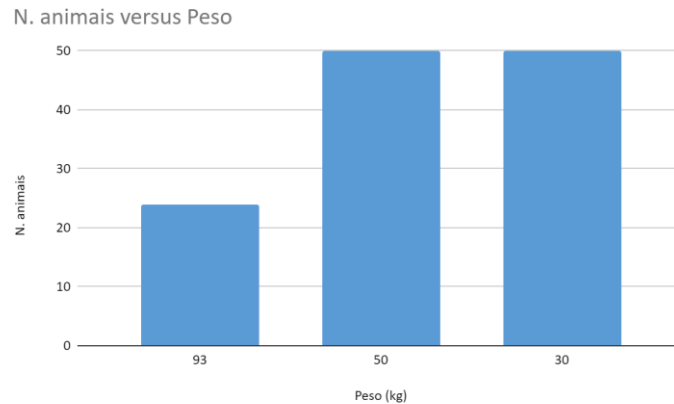
imagens 3D	capturadas de cima - suínos individualmente corredor	apenas 3% e 2,1% de erro	Wang et al. (2008)
imagens 3D + ML	capturadas de cima - suínos individualmente corredor	2,1% de erro	Banhazi et al. (2011)
imagem 2D	Capturadas individualmente	$R^2 = 0,79$ Poucas imagens: 477 (treinar) e 103 testar	Jun et al. (2018):
Sensor de profundidade (Kinect)	imagens captadas câmeras colocadas acima da baia	$R^2 > 0,95$ Poucas imagens Processo manual	Pezzuolo et al. (2018)
Kinect	Matrizes suínos em gaiolas	99% acurácia	Condotta et al (2019)

- Desafios**
- ❖ Dificuldade para sistemas de alta densidade
  - ❖ Soluções para inserir em sistemas aplicados
  - ❖ Heterogeneidade do ambiente de produção
  - ❖ Identificação individual

# Sensores de grupo: Dados de imagens – massa corporal

Projeto desde 2020: algoritmo para estimativa de massa corporal – suínos baias - 125 animais

05



- ✓ Pesagem e Coleta de imagens 3 D (Câmera Intel);
- ✓ Extração dos frames e processamento da nuvem de pontos;
- ✓ Construção dos modelos computacionais – diversos algoritmos para extração do suíno, extração das medidas morfológicas.
- ✓ Validação dos modelos com vídeos coletados em campo.

Tecnologias não-invasivas: Suínos



Resultados prévios: Medida vs Predita: 0,90

Data	Hora	Kg Medio	Qt.Suinos	Kg_Suino_1	Kg_Suino_2	Kg_Suino_3
5/25/2022	14:29:29	68.8	2	70.2	67.3	
5/25/2022	14:29:29	68.4	2	70.2	66.7	
5/25/2022	14:29:30	68.7	2	70.6	66.8	
5/25/2022	14:29:30	67.3	1	67.3		
5/25/2022	14:29:30	68.6	2	69.5	67.6	
5/25/2022	14:29:30	68.2	1	68.2		
5/25/2022	14:29:30	68.2	1	68.2		
5/25/2022	14:29:31	67.6	1	67.6		
5/25/2022	14:29:31	66.8	1	66.8		
5/25/2022	14:29:31	67.4	1	67.4		
5/25/2022	14:29:31	66.3	2	68.3	64.3	
5/25/2022	14:29:31	67.6	2	67.8	67.4	
5/25/2022	14:30:00	69.4	2	68	70.8	
5/25/2022	14:30:00	69.6	3	68.4	70.9	69.5

Grupo pesquisa  
LaZP-RAEB/FZEA

# Sensores grupo: avaliação da temperatura de superfície corporal e comportamento

05

**Tecnologias não-invasivas: Suínos**

Sensor	Característica avaliada	Resultados	Autores
Sensor infravermelho	comportamento de deitar (amontoamento)	Mudanças posturais de acordo com temperature ambiente	Huynh et al (2005):
câmeras térmicas	comportamento e temperatura superfície	Promissores para monitorar ambiente térmico	Berckmans, (2014):
sensores infravermelho baixo custo	Temperatura superfície corporal	Avaliação estresse térmico	Brown-Brandl (2013)
Câmera termográfica	Temperatura superfície corporal	Avaliação de estresse térmico, Temperatura orelha, paleta, dorso	Soarensen et al. (2014)
Câmera termográfica	Temperatura superfície corporal	Avaliação do estresse, Temperatura Dorso e área ocular	Weschenfelder et al (2013)
Câmera termográfica	Temperatura superfície corporal	Diferentes regiões corporais para avaliação das condições térmicas de leitões	Ricci et al., (2019)

# Sensores grupo: avaliação da temperatura de superfície corporal e estresse térmico

05

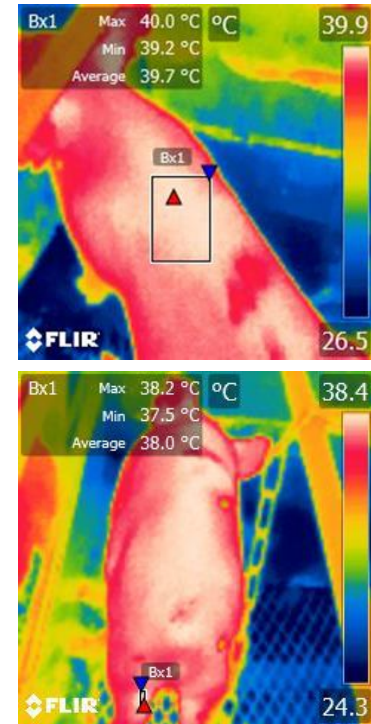
Tecnologias não-invasivas: Suínos

Fatores interferem na interpretação dos dados:

- ❖ Nível de atividade do animal
- ❖ Comportamento de alimentação
- ❖ Temperamento individual;
- ❖ Condições alojamento: densidade da baia, níveis de agressividade dentro da baia, a hierarquia.

Dados já conhecidos da produção de calor dos suínos precisarão ser revistos:

- baias que permitem maior atividade e interação animal deve alterar a produção de calor endógeno – afeta manejo microclima
- crucial desenvolver pesquisas com animais dentro dos sistemas de produção

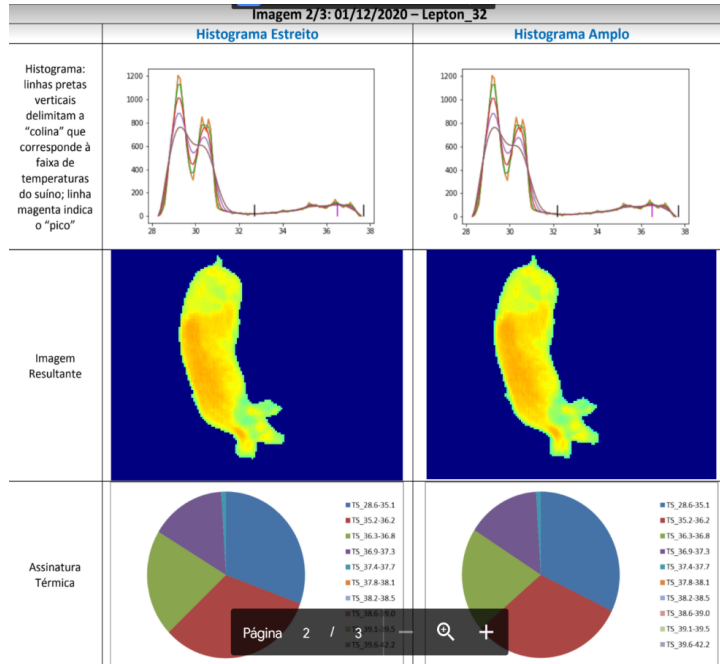


# Sensores grupo: Avaliação da temperatura de superfície corporal e estresse térmico

Projeto desde 2021 LaZP-RAEB/FZEA: desenvolvimento algoritmo para estimativa **do estresse térmico**

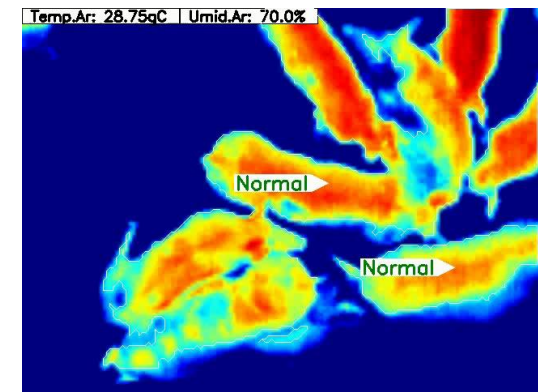
05

Tecnologias não-invasivas: Suínos



Data	Início	Duração	Temp.Ar	Umid.Ar	Suínos em Conforto	Temp.Média Conforto	Suínos em Estresse	Temp.Média Estresse
23/05/2022	21:57.7	00:00.2	28.8	70	2	39.1	0	0
23/05/2022	21:57.9	00:02.4	28.8	70	1	39.1	0	0
23/05/2022	22:00.3	00:00.4	28.8	70	2	39	0	0
23/05/2022	22:00.8	00:01.1	28.8	70	1	39	0	0
23/05/2022	22:01.9	00:00.1	28.8	70	1	39.1	1	38.8
23/05/2022	22:02.0	0:00:05	28.8	70	1	38.9	0	0
23/05/2022	22:07.0	00:00.1	28.8	70	1	38.87	1	38.6
23/05/2022	22:07.1	00:02.3	28.8	70	1	38.9	0	0
23/05/2022	22:09.4	00:00.2	28.8	70	1	38.9	1	38.5
23/05/2022	22:09.6	00:00.1	28.75	70	1	38.86	0	0

Câmara climática



- ❖ Classes de detecção: 'não-estresse' e 'estresse'
- ❖ Algoritmo desenvolvido com animais em câmara climática
- ❖ Acurácia geral: 87%
- ❖ Precisão da classe 'estresse': 98%

## Sensores grupo: microfone/dados som/vocalização

05

Tecnologias não-  
invasivas: Suínos

Vários estudos demonstram:

- ❖ vocalizações e gritos são expressões comportamentais
- ❖ detecção precoce de problemas e surtos de doenças
- ❖ prevenção da escalada da agressividade
- ❖ Parâmetros para análise dos componentes de áudio dos comportamentos vocais:

Von Borell et al. (2009): alteração na energia dispendida durante vocalização - dor e estresse de separação (leitões e matrizes)

Shon et al (2004): duração e intensidade dos gritos - melhores indicadores de estresse do que o número real de gritos – ferramenta com 83% precisão.

## Sensores grupo: microfone/dados som/vocalização

05

Tecnologias não-  
invasivas: Suínos

- ❖ Berckmans 2002, Wang et al. (2019), Silva 2009: concentram em detecção doenças respiratórias e saúde
- ❖ Sistema comercial: para análise de som: detecta doença respiratória na fase inicial



Boehringer  
Ingelheim

powered by SoundTalks

- ❖ Desenvolver classificador automático requer grande conjunto dados com Labellings (rotulagem)
- ❖ Maior número de dados – maior acurácia

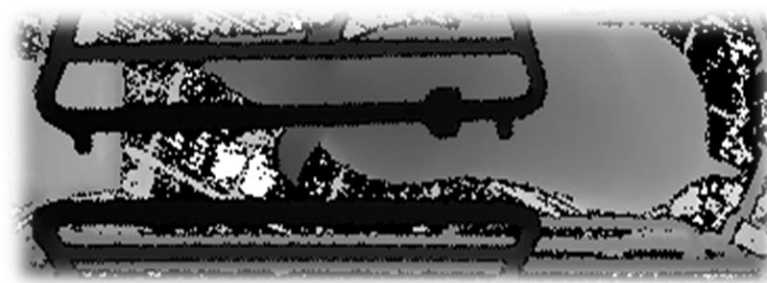
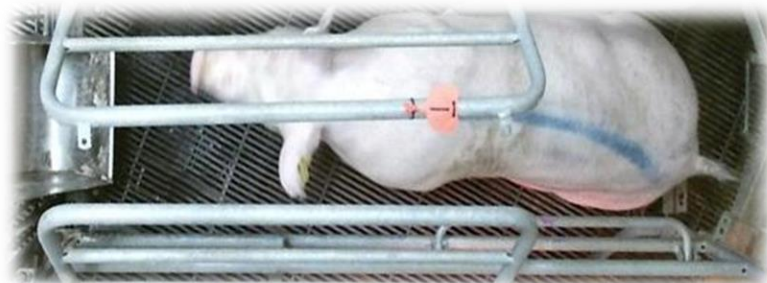
# Sensores grupo: imagens e avaliação do comportamento

05

Tecnologias não-invasivas: Suínos

Estudos	Acurácia	Imagens	Diferenças
Tese Pacheco	94.7%	Profundidade (grayscale)	- AlexNet - Matrizes (Yorkshire x Landrace) - 5 Posturas
Zhu et al., 2020	94.5 %	Profundidade +RGB Treinamento - 12600 Teste - 5533	- ZFNet - Técnicas melhorar imagens - Baías sem confinamento - 5 Posturas - Matrizes (Meihua)
Kasani et al. (2021)	> 99%	RGB Treinamento - 7,556 Teste - 2,517	- 8 CNNs - 4 Posturas - Matrizes (Yorkshire x Landrace) - Baías de gestação - Matrizes (Yorkshire x Landrace)
Bonneau et al. (2021)	94.2%	RGB Treinamento- 28035 Teste - 12015	- 11 CNN + SVM - Gaiolas de parto - 4 Posturas - Posição da camera: Vista superior oblíqua - Matrizes (Large White)

## Trabalho tese Verônica Pacheco



## Aspectos das tecnologias para avaliação BEA em suínos

05

Tecnologias não-  
invasivas: Suínos

- ❖ Estudos e pesquisas com tecnologias não-invasivas para avaliação do comportamento e BEA tem avançado em grande velocidade.
- ❖ É crucial investigar suínos em ambiente comercial. Há o desafio para solucionar a identificação individual.
- ❖ Monitoramento por video imagem extremamente promissora para aplicação na suinocultura com fins de avaliação BEA: avaliação do peso, claudicação, cio, estresse térmico, desempenho e saúde animal, mortalidade dos leitões.
- ❖ Sensores vestíveis para suínos apresentam limitações – promissores para pesquisa

## Considerações finais

06

### Considerações finais

Perspectivas e desafios da ZP para apoiar o BEA

- ❖ Aplicação dos conceitos de ZP irá apoiar avanços nos sistemas de criação rumo ao atendimento do BEA e sustentabilidade da produção animal.
- ❖ Tecnologias devem ser projetadas de acordo com a realidade de cada país ou região global, não apenas em termos de clima e condições climáticas específicas, mas também em relação ao tamanho das propriedades, nível tecnológico, disponibilidade e treinamento de mão de obra e requisitos de mercado.
- ❖ Desafio: Transmissão e armazenamento de dados.
- ❖ Grande quantidade potencial de dados gerados pelo uso de sensores e tecnologias de câmera:
  - Sensor de câmera capturando uma única imagem de 5 megabytes a cada segundo = 13 terabytes/mês
- ❖ A maioria das aplicações de tecnologias de sensores envolve uma tarefa de previsão.

## Considerações finais

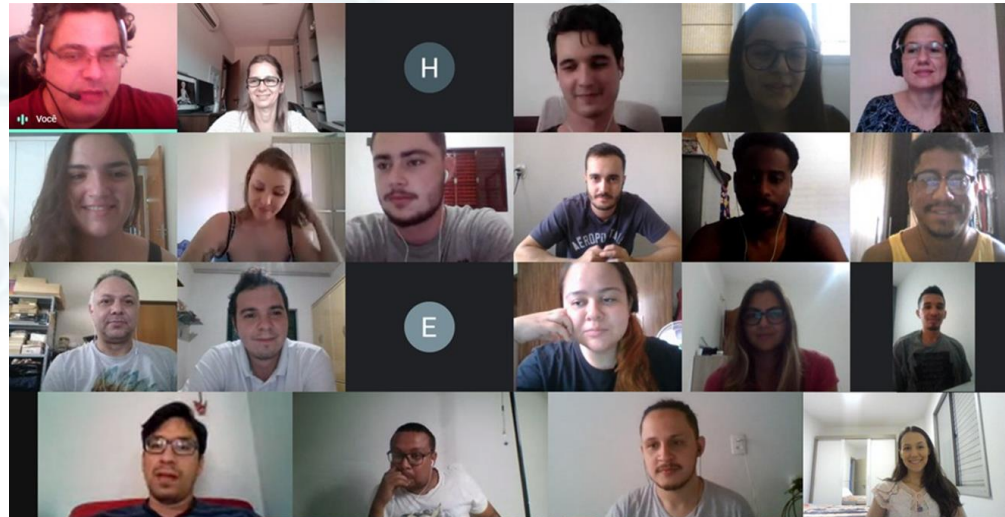
06

### Considerações finais

Perspectivas e desafios da ZP para apoiar o BEA

- ❖ Aplicações das tecnologias no ambiente produtivo oferecerão oportunidade para mudança de paradigmas em termos de cuidados com os animais.
- ❖ A aplicação de ferramentas tecnológicas nos sistemas produtivos deverá atuar com sistemas de Internet das Coisas (IoT) para integrar as ferramentas de Zootecnia de Precisão
- ❖ Por fim, investimentos no bem-estar dos trabalhadores, na capacitação será crucial para consolidar tecnologias no campo.
- ❖ A ZP tem elevado potencial para promover avanços sobre a ciência do BEA.

# Agradecimentos



**Muito obrigada!**

