

Estudo da viabilidade técnica do emprego de detectores térmicos de baixa resolução na suinocultura 4.0

Hermano Diógenes Ferreira Costa¹, Taize Calvacante Santana¹, Rodes Angelo Batista da Silva¹, Nicolý Farias Gomes¹, Glauco Estácio Gonçalves², Cristiane Guiselini¹, Gledson Luiz Pontes de Almeida¹, Victor Wanderley Costa de Medeiros¹

¹Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) - Recife - PE - Brasil

²Universidade Federal do Pará (UFPA) - Belém - PA - Brasil

{hermanodfc, taizehaes, rodesangel}@gmail.com, {nicoly_farias, cguiseli, gledson81}@hotmail.com, victor.wanderley@ufrpe.br, glaucogoncalves@ufpa.br

Abstract. *This article evaluates the technical feasibility of using low-resolution thermal detectors to monitor the thermal comfort of swine through surface temperature. We built two low-resolution detectors prototypes and compared their captures to a commercial high-resolution sensor. We carried out the experiments at Roçadinho Farm, a pig farm property located in the municipality of Capoeiras, Pernambuco. This study showed that, by adopting the proposed usage practices, the thermal detectors evaluated have the potential for appropriately monitoring environmental thermal comfort in swine farming.*

Resumo. *Este artigo avalia a viabilidade técnica do uso de detectores térmicos de baixa resolução no monitoramento do conforto térmico de suínos por meio da temperatura superficial. Foram construídos dois protótipos de detectores de baixa resolução que tiveram suas capturas comparadas a um sensor comercial de alta resolução. Os experimentos foram conduzidos na Fazenda Roçadinho, propriedade comercial de criação de suínos, localizada no município de Capoeiras, Pernambuco. Este estudo mostrou que, adotando-se as práticas de uso sugeridas, os detectores térmicos avaliados apresentam potencial para uso no monitoramento de conforto térmico ambiental na suinocultura.*

1. Introdução

O crescimento gradativo da conectividade nas zonas rurais têm proporcionado uma maior integração de dados oriundos de sensores, smartphones, bem como de outras ferramentas tecnológicas em soluções que viabilizam a introdução de conceitos contemporâneos no meio rural, a exemplo da Agricultura 4.0 ou Agricultura Digital (Bolfe et al. 2020).

No contexto da pecuária, a constante adesão a novas tecnologias têm destacado a suinocultura 4.0 mundialmente, em razão dessas aplicações promoverem melhorias significativas nos índices de produtividade. Outro aspecto importante é a crescente

preocupação com uma produção sustentável, observadas através das transformações ocorridas nos últimos anos nas áreas da ambiência, sanidade, nutrição, bem-estar animal e genética (Leal et al. 2018).

Uma das grandes dificuldades da produtividade pecuária está relacionada ao monitoramento do bem-estar e estresse térmico dos animais, que acarretam prejuízos no sistema de produção (Mota et al. 2020). Nesse sentido, a compreensão da relação animal-ambiente é fundamental, visto que o conhecimento das variações diárias e sazonais das respostas fisiológicas dos animais permitem a adoção de medidas que visem promover maior conforto (Nóbrega et al. 2011). Sendo assim, a temperatura de superfície da pele é uma variável fisiológica que deve ser monitorada para que venha a ser alterada em condições de estresse por calor (Nazareno et al. 2012).

Sistemas automatizados e não invasivos de monitoramento da termorregulação tem o potencial de mitigar doenças em suínos por meio da detecção precoce. A medição da temperatura irradiada por animais através de termografia infravermelha é uma ferramenta potencial para diagnóstico pois, além de minimizar intervenções homem-animal, capturam informação a respeito de um importante componente de estresse (Hoffmann et al. 2013).

Segundo o relatório de Damianos e Mounier (2020), são considerados detectores térmicos sensores que possuem arrays menores que 10 Kpixels. Acima deste número os sensores são classificados como câmeras térmicas e englobam o array de pixels, a óptica e a carcaça do equipamento.

As câmeras termográficas de alta resolução/precisão possuem custo elevado em relação aos equipamentos usados em testes convencionais. Assim sendo, estudos que avaliem a viabilidade do uso de câmeras térmicas de baixo custo e de detectores térmicos de baixa resolução, como a MLX90640, são importantes como uma ferramenta capaz de agregar a aquisição contínua de informações com a garantia de bem-estar dos animais através da adequação do manejo.

Wu et al. (2019) monitoraram a temperatura corporal humana utilizando um detector térmico de baixo custo (MLX90640), para avaliar o conforto térmico humano. Os resultados mostram que este dispositivo é capaz de ser usado para prever a sensação térmica com um desempenho melhor do que o sistema usual de medição de temperatura via termopares. A precisão do dispositivo para medir a temperatura do ambiente e da pele foi de 0,1 °C e 0,15 °C, respectivamente.

Desta forma, objetiva-se, a partir da construção de dois detectores térmicos de baixa resolução, avaliar a viabilidade técnica destes dispositivos comparando-os com um sensor comercial de alta resolução aplicados no monitoramento do conforto térmico de suínos por meio das temperaturas superficiais obtidas através de imagens térmicas.

2. Materiais e Métodos

O estudo foi conduzido na Fazenda Roçadinho, propriedade comercial de criação de suínos, localizada no município de Capoeiras, Mesorregião Agreste do Estado de Pernambuco, latitude de 8° 36' S, longitude de 36° 37' W e altitude de 700 m. O clima da região é caracterizado como semiárido (Bsh) de acordo com a classificação climática de

Köppen. A precipitação pluviométrica média anual da região é de 588 mm, temperatura média anual de 22,1 °C (Alvares et al. 2013).

A metodologia aplicada para aquisição dos resultados do monitoramento foi desenvolvida em três etapas: desenvolvimento de *hardware*, desenvolvimento de *software* e testes em campo, respectivamente.

2.1. Desenvolvimento do *Hardware*

Para a construção dos protótipos, foram utilizados dois sensores MLX90640¹ 32x24 pixels IR array. Sendo um deles com campo de visão (*FoV* - *Field of View*) de 55°x 35° - modelo MLX90640BAB (MLX F) - e outro de 110°x75° - modelo MLX90640BAA (MLX A). O *FoV* é uma característica óptica do sensor e determina a extensão da cena capturada. Assim, o modelo MLX A cobrirá uma área maior do que o MLX F.

Os sensores MLX90640 utilizam a tecnologia de termopilha, não necessitam recalibração, têm sensibilidade (*Noise Equivalent Temperature Difference* - *NETD*) de 0,1 K RMS à taxa de atualização de 1 Hz. Sua temperatura de operação é de -40°C a 85°C e a temperatura do alvo deve estar na faixa de -40°C a 300°C.

A acurácia dos sensores varia de acordo com o modelo, a temperatura do alvo e a localização do pixel no sensor. Os pixels de captura de cada um dos sensores são divididos em regiões conforme mostra a conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Acurácia dos pixels

Modelo	Região	Acurácia
MLX A	Zona 1	±1.5°C
	Zona 2	±2°C
	Zona 3	±2°C ± 2% * Ta - To
MLX F	Zona 1	±2°C
	Zona 2	±3°C

As variáveis Ta e To representam, respectivamente, a temperatura do sensor no momento da captura e a temperatura observada pelo pixel. Por sua vez, a abrangência de cada zona pode ser observada na Figura 1.

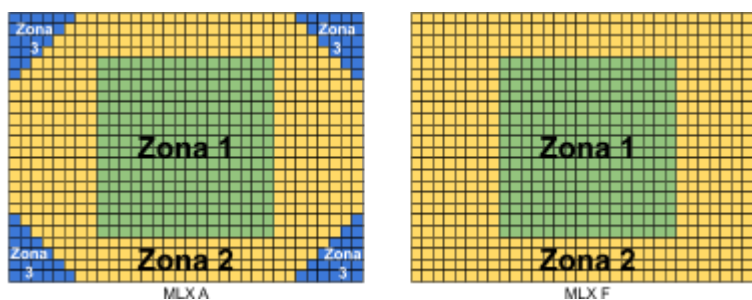


Figura 1. Distribuição dos pixels por zona

O sinal gerado pelo sensor é obtido através do barramento *I²C* (*Inter-Integrated Circuit*) de um microcontrolador ESP32-WROVER-B embarcado na placa de

¹ MLX90640 - <https://www.melexis.com/en/product/MLX90640/Far-Infrared-Thermal-Sensor-Array>

desenvolvimento TTGO T7 V1.2 MINI 32. A programação do controlador foi desenvolvida em linguagem C/C++ utilizando a IDE Visual Studio Code e a extensão PlatformIO. A interligação entre o sensor e a placa foi realizada através de fios elétricos, com conectores JST SH de quatro pinos, acoplados a uma placa de circuito impressoilhada (5 x 7 cm) e acondicionados em uma caixa plástica com tampa. A Figura 2 apresenta o protótipo do detector térmico.

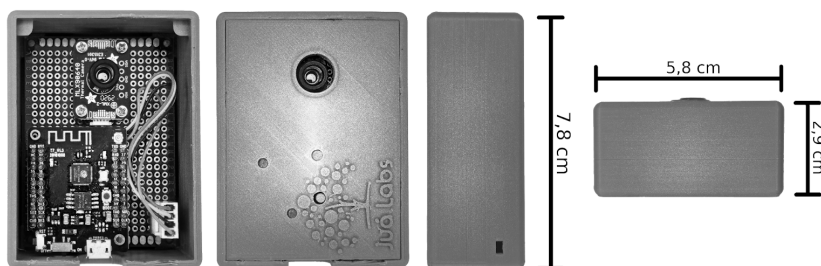


Figura 2. Protótipo do Detector Térmico

A rotina para captura de dados é disparada ao se pressionar o botão posicionado na parte frontal da câmera. Após a captura, os dados obtidos são processados, sendo disponibilizado um vetor com 768 posições, o qual contém a temperatura aferida por cada um dos pixels. A construção do vetor demanda a realização de dois ciclos de captura, sendo metade dos pixels atualizada em cada um. A velocidade do ciclo pode ser ajustada, sendo necessário configurar a taxa de atualização, que pode variar de 0,5 Hz até 64 Hz. No experimento, foi utilizado o valor de 16 Hz, devido à limitação de largura de banda do barramento I^2C do microcontrolador.

Um tópico de grande atenção para a adequada medição da temperatura pelo equipamento é a distância entre o sensor e o alvo. Conforme descrito pelo fabricante, é necessário que a região de interesse ocupe todo o campo de visão do equipamento. Do contrário, as temperaturas na região de *background* terão influência nos valores calculados para a região de interesse. A Equação 1 descreve, de modo aproximado, a relação entre o alvo e o sensor, que leva em consideração o tamanho do alvo (S), a distância (D) para o sensor e a tangente (tg) do FoV.

$$D \approx \frac{S}{2 \times tg\left(\frac{FoV}{2}\right)}$$

Equação 1. Cálculo da distância entre o alvo e o sensor

A distância de captura deve ser definida em função do tamanho do alvo a fim de maximizar o número de pixels que cobrem o objeto, pois quanto menor for a distância do alvo, mais precisas serão as temperaturas de superfície obtidas (Faye et al., 2016).

2.2. Desenvolvimento do Software

Os programas executados pelos microcontroladores são idênticos. Ao se energizar o protótipo, é inicializada a rotina de configuração, momento no qual são ajustados os parâmetros de funcionamento dos sensores. Em seguida, tendo em vista que o valor da temperatura ambiente é aproximado tendo por base a temperatura do sensor MLX, conforme previsto no datasheet do equipamento, é necessário aguardar, pelo menos, 5

(cinco) minutos para a realização da primeira captura. Este tempo se faz necessário para que ocorra a estabilização térmica do equipamento.

Realizada uma captura, os dados produzidos são processados e, em seguida, enviados, na forma de um vetor de temperaturas, para uma plataforma *IoT (Internet of Things)*. A comunicação entre os protótipos e a plataforma é realizada através de uma conexão *Wi-Fi*. Em função da ausência de redes de comunicação no local do experimento, foi necessário a criação de um *hotspot Wi-Fi*. O *hotspot* foi criado em um *notebook*, no qual também é executada a versão *community* da plataforma *IoT, ThingsBoard*, versão 3.3.3 (<https://thingsboard.io/>). Para a visualização instantânea dos dados, foi criado um *dashboard*, no qual é possível visualizar a última captura no formato de uma imagem térmica.

Adicionalmente, foi criado um aplicativo, utilizando a linguagem *Python*, através do qual o usuário pode carregar um arquivo no formato *JSON* com os dados extraídos da plataforma *ThingsBoard*. No aplicativo, é possível visualizar os dados no formato de uma imagem térmica sendo permitido, por exemplo, aplicar *zoom* - sendo aplicadas técnicas de interpolação para suavizar a imagem, alterar a paleta/mapa de cores, selecionar uma região de interesse e obter informações sobre as temperaturas máxima, média e mínima. Além disso, é possível visualizar uma matriz contendo o valor aferido por cada pixel, bem como um histograma das temperaturas, tanto para a imagem inteira, quanto para uma região selecionada. Conforme Duarte et al. (2013), a determinação dos pontos que compõem a região de interesse (suíno) levou em consideração o contraste existente entre as temperaturas superficiais dos suínos em relação ao do background, sendo atribuído um valor de *threshold* igual a 35,2°C.

2.3. Teste de Campo

O teste ocorreu no dia 09 de dezembro de 2021. Os animais utilizados estavam em fase de crescimento (60 - 110 dias). Foram utilizados 10 suínos (machos e fêmeas) das raças *Large White* e *Pietrain* alojados em baias cobertas com telhas de fibrocimento.

Os dois protótipos foram posicionados a 1,25 m de altura em relação aos suínos e foram realizadas 10 capturas de temperatura do dorso dos suínos. O experimento iniciou às 11h35min e teve seu término às 12h42min. Para fins comparativos, foram obtidos os registros das temperaturas de superfície dos animais por meio de imagens termográficas coletadas por um termovisor modelo *FLIR E60* (<https://www.flir.com.br/support/products/e60/#Overview>), em que todos os animais foram submetidos individualmente ao registro de imagens.

Foram registrados, também, dados referentes às variáveis meteorológicas - temperatura do ar (Tar, °C) e umidade relativa (UR, %) no interior da instalação. Para a captura destes dados foram utilizados *dataloggers* modelo *HOBO U12-12 (Onset Computer Corporation Bourne, MA, USA)*. Durante a realização dos experimentos, os valores médios da temperatura do ar e da umidade relativa foram, respectivamente, 32,95°C e 44,9%. Sendo estes, os valores informados para a rotina de cálculo das temperaturas da câmera *FLIR*. Cabe destacar que as condições climáticas apresentam influência nos resultados das medições da temperatura superficial em todos os sensores

que utilizam a tecnologia de termografia por infravermelho e podem levar a interpretações errôneas das temperaturas do objeto.

2.4. Análise estatística

A normalidade dos dados da temperatura superficial dos suínos obtidos por meio das imagens térmicas dos dois detectores térmicos propostos e do sensor comercial foi testada pelo teste Shapiro-Wilk e a relação entre as médias pelo Teste-T pareado, sendo ambos realizados à 95% de confiança.

3. Resultados e Discussão

O experimento teve como propósito a aquisição de resultados relativos à temperatura superficial de suínos em fase de crescimento por meio de câmeras térmicas de baixa resolução. A Figura 3 apresenta as imagens de um dos animais obtidas pelos dois detectores térmicos propostos (MLX A e MLX F) e pelo sensor comercial (FLIR E60).



Figura 3. Imagens térmicas após a segmentação da região de interesse obtidas através dos detectores térmicos propostos MLX A (A) e MLX F (B) e pelo sensor comercial FLIR ©

Os valores médios das temperaturas superficiais de cada suíno, bem como a diferença entre as médias observadas por cada detector térmico proposto e a média observada pelo sensor comercial, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Temperatura superficial média dos suínos e diferença de temperatura (Δ) entre os detectores térmicos (MLX A e MLX F) e o sensor comercial (FLIR)

Suíno	Temperatura ($^{\circ}$ C)			Δ Temperatura ($^{\circ}$ C)	
	FLIR	MLX A	MLX F	MLX A	MLX F
1	38,13	36,13	36,89	2,00	1,24
2	37,95	36,43	36,68	1,52	1,27
3	37,77	35,83	36,83	1,94	0,94
4	37,89	36,65	37,40	1,24	0,49
5	39,16	36,97	38,38	2,19	0,78
6	38,66	36,96	38,12	1,70	0,54
7	38,19	36,86	37,90	1,33	0,29
8	39,20	36,54	37,90	2,68	1,30
9	39,34	36,70	38,77	2,64	0,57
10	37,97	35,86	36,56	2,11	1,41

Os resultados da Tabela 2 evidenciam uma diferença entre a temperatura superficial dos suínos obtidas pelos dois detectores propostos (MLX A e MLX F) e pelo

sensor comercial (FLIR). Estas discrepâncias surgem em função da região de interesse (suíno) não ocupar todo o campo de visão do detector. O protótipo MLX A, que por cobrir uma área, aproximadamente, 7 vezes maior do que o MLX F, apresenta valores de temperatura mais baixos (35,83 °C a 36,97 °C), devido a uma maior influência das temperaturas do *background*. Apesar da influência do *background*, a diferença entre as temperaturas obtidas pelo detector MLX A e o sensor FLIR foi inferior a 2,68 °C.

De acordo com Faye et al. (2016) a distância entre o alvo e o sensor térmico é um importante modificador da heterogeneidade térmica medida, podendo provocar erros e a subestimação das temperaturas da superfície estudada. Os autores recomendam que a distância de disparo seja selecionada em função do tamanho do alvo e das especificações da câmera térmica, sobretudo o campo de visão.

Desta forma, o detector MLX F apresentou temperaturas superficiais mais elevadas, variando na faixa de (36,56°C a 38,77°C) e mais próximas das temperaturas superficiais obtidas pelo sensor FLIR com variação inferior a 1,27 °C. Essa proximidade entre as temperaturas obtidas ocorre em função do MLX F possuir um campo de visão mais fechado (55° x 35°) sendo esta uma condição favorável a captura de imagens dos suínos na região mais central da lente, o que implica em uma maior quantidade de pixels de maior acurácia (Tabela 1) e evidencia que quanto maior for a quantidade de pontos capturados na região central da lente dos detectores MLX, mais aproximadas estas temperaturas estarão das obtidas através do sensor comercial. Por esta razão, recomenda-se adequar a distância dos detectores térmicos fixos de modo a garantir esta centralidade e uma maior área útil da imagem. Como os suínos são normalmente agrupados pela fase de criação, possuindo tamanho e peso semelhantes, é esperado que um detector térmico fixo obtenha uma área útil de imagem equivalente para vários animais.

A Tabela 3 apresenta a quantidade de pontos segmentados como sendo dos suínos em cada uma das imagens e o percentual de pontos da zona 1 (Figura 1), 256 pontos no total, ocupados pelos pontos segmentados.

Tabela 3. Quantidade de pontos por captura e o percentual dos pontos capturados localizados na zona 1

Suíno	Pontos			Ocupação da Zona 1 por Pontos Segmentados (%)	
	FLIR	MLX A	MLX F	MLX A	MLX F
1	25825	13	68	5,08	16,41
2	18516	10	40	3,91	6,25
3	17897	5	43	1,95	6,64
4	21572	12	60	4,69	14,45
5	17618	6	60	2,34	16,80
6	22317	22	85	8,59	26,95
7	18248	18	80	7,03	30,86
8	23846	16	74	6,25	19,14
9	20052	18	89	7,03	31,25
10	32326	6	49	2,34	10,55

A Figura 4 apresenta o gráfico de dispersão da variação da temperatura média do detector MLX F pelo percentual de ocupação da zona 1. É possível observar, através da linha de tendência, a existência de influência do percentual de ocupação da zona 1 sobre a diferença de temperatura medida pelo detector MLX F e a FLIR. Quanto maior a ocupação da zona 1 por pontos segmentados, ou seja, quanto menor a ocupação por *background* naquela zona, menor é a diferença entre as temperaturas médias aferidas pelos equipamentos.

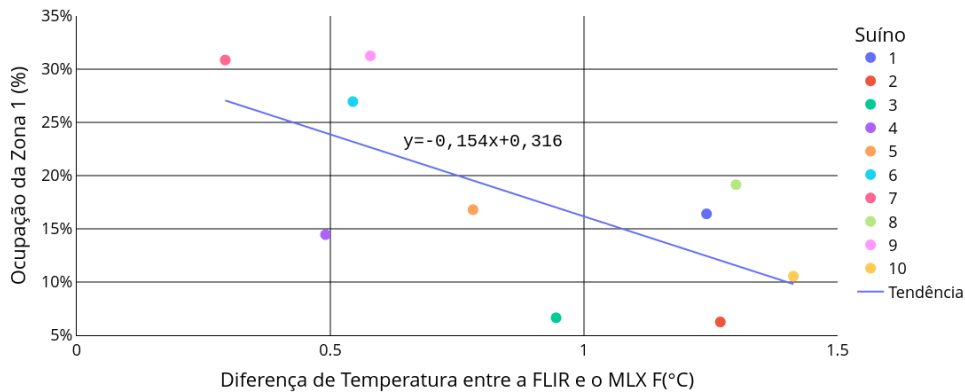


Figura 4. Gráfico de dispersão da variação da temperatura média (FLIR - MLX F) pela ocupação da zona 1 por pontos segmentados e linha de tendência dos dados.

Em experimentos futuros planeja-se obter um número maior de amostras que permitam validar estatisticamente esta tendência, sinalizando uma correlação negativa da diferença de temperatura da câmera FLIR e do sensor MLX com a ocupação da Zona 1 do sensor MLX.

Os dados referentes à temperatura superficial dos suínos apresentaram distribuição normal pelo teste Shapiro-Wilk (nível de confiança de 95%), conforme Tabela 4.

Tabela 4. Teste de Shapiro-Wilk

Equipamento	Estatística	Valor p
FLIR	0,85	0,06
MLX A	0,90	0,22
MLX F	0,93	0,40

O teste-T pareado foi aplicado com as seguintes configurações: FLIR x MLX A, FLIR x MLX F e MLX F x MLX A. A hipótese alternativa adotada foi a de que a primeira distribuição do par apresentaria médias maiores do que as da segunda distribuição. Os resultados obtidos mostram que a hipótese nula foi rejeitada (Tabela 5), demonstrando haver evidências de que a primeira distribuição do par apresenta médias maiores do que a segunda, ou seja, $Temperatura_{FLIR} > Temperatura_{MLX F} > Temperatura_{MLX A}$. Confirmando as suposições feitas dadas as características dos sensores e a configuração adotada durante a realização do experimento.

Tabela 5. Teste-T Pareado

Configuração	Estatística	Valor p
FLIR x MLX A	12,32	3.08×10^{-7}
FLIR x MLX F	6,96	$3,29 \times 10^{-5}$
MLX A x MLX F	6,68	$4,51 \times 10^{-5}$

4. Conclusão

Os detectores térmicos de baixa resolução, como o MLX90640, despontam como uma solução alternativa de menor custo. Apesar das variações observadas nestes dispositivos, quando comparados ao sensor comercial investigado, é possível concluir através deste estudo que quando utilizados de acordo com as recomendações destacadas, os detectores térmicos de baixo custo apresentam potencial uso no monitoramento de conforto térmico ambiental em suínos, e possivelmente, em outras aplicações voltadas à agropecuária digital.

Como projeto futuro, planeja-se a realização de experimentos com maior número de amostras, de modo a permitir a validação estatística das tendências observadas. Também se vislumbra a realização de estudo para verificar a viabilidade de uso dos detectores como instrumento não invasivo para medição de índice de conforto térmico em suínos.

As respostas obtidas neste estudo destacam a necessidade de se calcular a distância ideal entre o sensor e o alvo a fim de se garantir que a região de interesse ocupe todo o campo de visão do equipamento, bem como a existência de um possível efeito compensador de uma maior ocupação da zona 1 por pontos segmentados sobre a ocupação por *background* nas demais zonas.

5. Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada (PPGIA-UFRPE), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PGEA), ao Grupo de Pesquisa em Ambiente (GPESA) da UFRPE e ao Juá Labs pelo apoio ao desenvolvimento dessa pesquisa. Este trabalho foi financiado pelas seguintes instituições de fomento: FACEPE, CAPES (Finance Code 001) e CNPq.

6. Referências

- A. Duarte, L. Carrão, M. Espanha, T. Viana, D. Freitas, P. Bártolo, P. Faria, H.A. Almeida (2013). Segmentation algorithms for thermal images. CENTERIS 2014 - Conference on ENTERprise Information Systems, 16 (2014), 1560-1569.
- Bolfe, É. L., Jorge, L. A. D. C., Sanches, I. D. A., Luchiari Júnior, A., da Costa, C. C., Victoria, D. D. C., ... & Ramirez, A. R. (2020). Precision and digital agriculture: Adoption of technologies and perception of Brazilian farmers. *Agriculture*, 10(12), 653.

- Damianos, D., Mounier, E. Thermal Imagers and Detectors 2020. [s.l.] Yole Development, [s.d.]. Disponível em: <<https://s3.i-micronews.com/uploads/2020/11/YDR20133b-Thermal-Imagers-and-Detectors-2020-Sample.pdf>>.
- Faye, E., Dangles, O., & Pincebourde, S. (2016). Distance makes the difference in thermography for ecological studies. *Journal of Thermal Biology*, 56, 1-9.
- Hoffmann, G., Schmidt, M., Ammon, C., Rose-Meierhöfer, S., Burfeind, O., Heuwieser, W., & Berg, W. (2013). Monitoring the body temperature of cows and calves using video recordings from an infrared thermography camera. *Veterinary research communications*, 37(2), 91-99.
- Leal, D. F., Gameiro, A. H., Muro, B. B., Dutra, M. C., Carnevale, R. F., & Garbossa, C. A. (2018). Capítulo Vi Diagnóstico Situacional Dos Atuais Gargalos Da Suinocultura Brasileira. *Novos Desafios da Pesquisa em Nutrição e Produção Animal*, 109, 345.
- Mota, V. C., Andrade, E. T. D., & Leite, D. F. (2020). Sistema de confinamento Compost barn: interações entre índices de conforto, características fisiológicas, escore de higiene e claudicação. *Arq. Ciênc. Vet. Zool. UNIPAR (Online)*, e2308-e2308.
- Nóbrega, G. H., Silva, E. M. N., Souza, B. B., Manguiera, J. M. (2011). A produção animal sob a influência do ambiente nas condições do semiárido nordestino. *Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável*, 6 (1), 9.
- Roberto, J. V. B., & Souza, B. D. (2014). Utilização da termografia de infravermelho na medicina veterinária e na produção animal. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 2(3), 73-84.
- Wu, Y., Liu, H., Li, B., & Kosonen, R. (2019). Prediction of thermal sensation using low-cost infrared array sensors monitoring system. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 609, No. 3, p. 032002). IOP Publishing.