



PRODUÇÃO ANIMAL 4.0: conceitos, aplicações e tendências

Sérgio Luís de Castro Júnior¹
Glauber da Rocha Balthazar²
Alessandra Arno³
Marcos Vinícius Amato da Cruz⁴
Iran José Oliveira da Silva⁵

Recebido em: 10/2020
Aprovado em: 11/2020

RESUMO

A Produção Animal 4.0 é um conceito emergente e dinâmico, que surge das revoluções industriais e agrícolas e que exige novas reflexões sobre as práticas de criação animal em um contexto cada vez mais tecnológico. Nesse cenário, o objetivo deste artigo de revisão é apresentar, de forma abrangente, os principais conceitos, aplicações recentes e recomendações de pesquisa relacionados à Produção Animal 4.0. Para isso, o tema central foi categorizado em quatro elementos principais, sendo: 1) A coleta de dados, com destaque para os novos dispositivos eletrônicos de interesse zootécnico; 2) Transmissão de dados, onde é discutido a problemática da conectividade do campo; 3) Gerenciamento de dados, dando enfoque em aplicações de *Big Data*, Inteligência Artificial (IA) e Internet das Coisas (IoT) na produção animal; e 4) Visualização dos dados, com exemplos de softwares de gerenciamento para tomada de decisão. As considerações finais deste trabalho resgatam a importância da multidisciplinaridade na consolidação do conceito de Produção Animal 4.0, além de estimular provocações sobre os futuros direcionamentos desta área em crescente expansão.

Palavras-chave: Internet das Coisas. Zootecnia de precisão. Integração hardware-software. Gerenciamento de dados. Inteligência artificial.

LIVESTOCK 4.0: concepts, applications and trends

ABSTRACT

Livestock 4.0 is an emerging and dynamic concept that arises from industrial and agricultural revolutions and which requires new reflections on livestock farming practices in an increasingly technological context. In this scenario, the purpose of this review paper is to present, in a comprehensive way, the main concepts, recent applications and research

¹ Graduado em Engenharia de Biosistemas (FZEA/USP). Mestre e Doutorando em ciências pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas (PPGESA/ESALQ/USP).

² Núcleo de Pesquisa em Ambiente (NUPEA), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP).

³ Núcleo de Pesquisa em Ambiente (NUPEA), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP).

⁴ Núcleo de Pesquisa em Ambiente (NUPEA), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP).

⁵ Núcleo de Pesquisa em Ambiente (NUPEA), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP).



recommendations related to Livestock 4.0. For this, this study is structured according to the four main elements of a data management systems architecture, namely: 1) Data collection, with emphasis on new electronic devices of livestock interest; 2) Data transmission, where the problem of farm connectivity is discussed; 3) Data management, focusing on Big Data, Artificial Intelligence (AI) and Internet of Things (IoT) applications in livestock production; and 4) Data visualization, with examples of management software for decision making. Final considerations of this work recapture the importance of multidisciplinary teams in the consolidation of the concept of Livestock 4.0, in addition to bring provocations about the future directions of this area in increasing expansion.

Keywords: Internet of Things. Livestock Precision Farming. Hardware-software integration. Data management. Artificial Intelligence.



1. INTRODUÇÃO

Dois séculos e meio nos distanciam da Primeira Revolução Industrial, quando os métodos de produção artesanal foram progressivamente substituídos pela produção mecanizada. De lá pra cá, a comunidade científica e o setor produtivo, após diversos avanços e marcos históricos, viram a indústria caminhar para sua quarta atualização o que, atualmente, exige um modelo de produção que dialogue com os atuais progressos tecnológicos (SANTOS et al., 2018).

A Quarta Revolução Industrial, reconhecida como Indústria 4.0, representa o desenvolvimento e utilização de tecnologias que permitem às máquinas sua autoconfiguração, auto otimização, autogerência e intercomunicação, por meio das ferramentas da inteligência artificial (IA) e dispositivos conectados através da Internet das Coisas (*Internet of Things*, IoT) (SANTOS et al., 2018; BAHRIN et al., 2016). Outra característica é que, a partir dessas novas ferramentas, os mundos físico e virtual se fundem e se complementam, sendo essa a base dos Cyber Physical Systems (CPS).

Nesse contexto, a nomenclatura 4.0 vem sendo incorporada a diversas soluções que prometem expandir o poder de decisão da indústria, uma vez que a quarta revolução resulta na oferta e no gerenciamento de um volume cada vez maior de dados. De acordo com Santos et al. (2018), tais tomadas de decisão mais assertivas e ágeis permitem a criação de produtos personalizados, complexos, sofisticados, de maior qualidade, melhor custo/benefício e máxima otimização de recursos empregados na fabricação. Dessa maneira, os princípios da Indústria 4.0, originados na Alemanha no início da década passada, são gradualmente difundidos e aplicados no contexto industrial brasileiro, com destaque para as áreas de manufatura e finanças.

Paralelamente, a Quarta Revolução também está acontecendo no interior das fazendas. Associada aos termos *Smart farms* e Agricultura 4.0, tal revolução aproxima o setor agrícola das tecnologias emergentes, como forma de incorporar tais ferramentas à otimização das atividades rurais (ROSE e CHILVERS, 2018). Entretanto, vale destacar que a Agricultura 4.0 muitas vezes se refere à produção vegetal, surgindo, portanto, questionamentos sobre como esses processos de Revolução ocorrem na produção animal. Ademais, a criação comercial de animais possui demandas e desafios particulares, exigindo propostas tecnológicas que atendam a suas próprias especificidades.



Fazendo uma síntese destes desafios, listam-se aqui algumas tendências futuras associadas aos aspectos quantitativos e qualitativos da produção animal. Primeiramente, grandes números envolvem as expectativas de produção e consumo de carne e outros produtos de origem animal. Estimativas sugerem que, em 2050, a população mundial deve alcançar o registro de 9,7 bilhões de habitantes, cerca de 2,1 bilhões a mais do que é atualmente registrado. Para suprir tal demanda, de acordo com dados da FAO, a indústria de alimentos deve disponibilizar uma quantidade adicional de 233 milhões de toneladas de carne, um aumento de 102% dos padrões atuais. Além disso, os hábitos alimentares também devem sofrer modificações ao longo dos próximos anos, com os países desenvolvidos (Europa e América do Norte) estabilizando o consumo de carne e países emergentes (América Latina, Ásia e África) com expectativa de aumento no consumo destes produtos (BOLAND et al., 2013; USDA, 2015; ONU, 2019).

Para atender aos desafios supracitados, a produção animal deve expandir sua escala produtiva. Neste quesito, o Brasil possui grande responsabilidade internacional, pois abastece o mercado de alimentos de diversos países e ocupa, atualmente, as posições de 5º maior na produção de leite, 4º em carne suína, 2º em carne de frango e 1º em carne bovina (SEAPA, 2018). Ainda, o aumento da produção deve se tornar o mais eficiente possível, resultando em uma maior produtividade. Por fim, espera-se também uma preocupação cada vez maior com a redução de perdas, que é consequência de bons resultados zootécnicos (como a redução da taxa de mortalidade do lote).

Tendências de futuro também apontam mudanças nas questões qualitativas dos produtos de origem animal. Além dos atributos físico-químicos no momento da compra (aparência, cor, odor, entre outros), os atuais consumidores tendem a se preocupar cada vez mais com a forma em que os animais são criados, lançando um olhar mais atento aos sistemas produtivos. Nesse cenário, surgem novos requisitos de qualidade que devem atender às políticas de bem-estar animal (WANG et al., 2018; CORNISH et al., 2020), rastreabilidade (OLIVEIRA e SPERS, 2018), adequação das fazendas para sistemas de produção mais sustentáveis (SIEGRIST e HARTMANN, 2019), cuidados com a emissão de gases (CAPUTO et al., 2018), produção orgânica de alimentos (WONG e AINI, 2017), entre outros. Tais tendências, muitas vezes encabeçadas pelas demandas e percepções dos consumidores, vêm exigindo adaptações e posicionamentos claros de todos os elos da cadeia de produção e distribuição de alimentos (incluindo as fazendas, os frigoríficos, o varejo, órgãos governamentais, entre outros).



Dessa forma, a otimização dos recursos produtivos (garantindo maior produção, maior produtividade e menor perda) e melhorias na qualidade dos sistemas de criação de animais figuram entre as principais justificativas para o desenvolvimento e adoção de novas tecnologias na produção animal. Gongal et al. (2015) ainda destacam que, além destes fatores, a modernização das fazendas visa satisfazer a carência de mão de obra causada pelo êxodo rural, como também, a partir da automação dos sistemas, diminuir a execução de tarefas repetitivas e gerar economia de tempo e energia para os colaboradores.

Entretanto, vale destacar que o diálogo entre a produção animal e as tendências tecnológicas não é recente. Um dos primeiros termos a interseccionar estas duas áreas foi o *Precision Livestock Farming* (PLF), definido por Berckmans (2017) como uma ciência multidisciplinar que visa gerenciar individualmente os animais de produção por meio do monitoramento contínuo e em tempo real da sanidade, bem-estar, desempenho zootécnico, reprodução e impacto ambiental. No Brasil, o conceito foi traduzido como Zootecnia de Precisão, originalmente definido como “um pacote tecnológico que considera as características tecnológicas do sistema em relação ao controle e à aquisição das informações e das variáveis do processo de produção” (SILVA e NÄÄS, 1998).

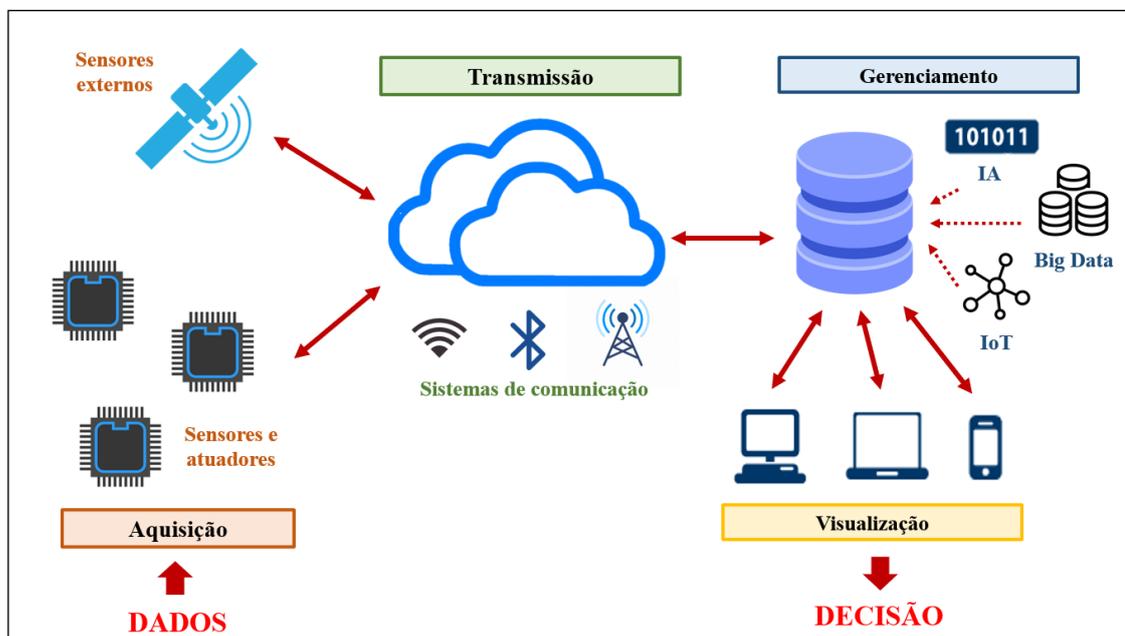
Ao longo da sua incorporação ao cenário produtivo e científico brasileiro, a definição de Zootecnia de Precisão passou (e ainda passa) por um processo dinâmico de atualizações, na tentativa de acompanhar as novas tendências tecnológicas. Dessa forma, avanços nos estudos em Zootecnia de Precisão – que se voltaram principalmente no desenvolvimento de dispositivos eletrônicos e métodos matemáticos para a coleta de dados de interesse produtivo – foram fundamentais para o sucesso dos processos de digitalização das fazendas, que chamamos neste artigo de Produção Animal 4.0.

Portanto, a Produção Animal 4.0 se dirige a todo o aparato digital utilizado desde a coleta de dados até a tomada de decisão (cada vez mais apurada e rápida) nas propriedades rurais, possibilitando: a aquisição de dados de forma automática e em tempo real (com dispositivos guiados pelos princípios da Zootecnia de Precisão); o gerenciamento integrado destes dispositivos (utilizando computação em nuvem e IoT); tomada de decisão de forma mais assertiva (com algoritmos de IA) e maior interação e customização com o usuário ao longo deste processo (através de softwares e plataformas de gestão personalizados).

Baseado nisso, a Figura 1 sumariza os principais conceitos relacionados à Produção Animal 4.0 e que foram citados nesta introdução. Estes conceitos se distribuem, para facilidade de leitura, em quatro elementos principais de uma arquitetura de sistema: a coleta

de dados, pelos dispositivos hardware; a transmissão de dados e modelos de comunicação; o processamento e armazenamento de dados; e a visualização e manipulação dos dados pelas interfaces homem-máquina. Todavia, vale destacar que embora esta arquitetura seja amplamente empregada em diversos sistemas de gerenciamento 4.0, há diversas outras possibilidades de estruturação e ordenação destes elementos.

Figura 1. Arquitetura geral de sistemas de gerenciamento de dados e principais conceitos da Produção Animal 4.0.



Após estas considerações gerais sobre o histórico e principais características da Produção Animal 4.0, este trabalho pretende, por meio de uma revisão bibliográfica, traçar o estado-da-arte das principais tecnologias desenvolvidas para auxiliar nas etapas de manejo dos animais. Neste intuito, os próximos quatro itens deste artigo correspondem aos elementos da arquitetura geral de sistemas apresentados na Figura 1. Dentro de cada elemento, é oferecido um compilado de estudos recentes, no ensejo de esboçar possíveis atualizações e tendências científicas e comerciais centradas na produção animal. Foi dedicado, no final de cada item, um espaço para indicar possibilidades de estudos futuros, aos olhos dos autores deste trabalho. O artigo é conduzido à sua conclusão a partir do esboço de algumas considerações finais julgadas necessárias para a prática e implementação, de fato, da Produção Animal 4.0.



2. COLETA DE DADOS

O primeiro elemento a ser abordado, de acordo com a Figura 1, está fundamentado na premissa básica de uma implementação efetiva da Produção Animal 4.0 em um empreendimento rural que é a coleta eficiente de dados, pois é a partir da análise destes que torna-se possível tomar decisões mais assertivas e de menor risco. Yassin et al. (2011) e Wolfert et al. (2017) apontam que, em sistemas de produção mais conservadores, muitos dos dados zootécnicos que representam grandes reflexos produtivos não são sequer coletados, seja pela falta de equipamentos e recursos tecnológicos ou mesmo pela carência de equipe técnica apta. Além disso, muitos sensores utilizados na produção animal podem não ter sido projetados para atuarem em ambientes agrícolas que são considerados ambientes hostis. Desta forma, estes sensores sofrem degradação por conta de excesso de umidade, temperaturas elevadas, poeira e gases excessivos, etc., o que compromete sua qualidade na percepção de dados e diminui sua vida útil em campo.

Reagindo a essas características mais tradicionais da produção animal, no âmbito do conceito 4.0 acredita-se que nas fazendas há diversas variáveis que podem (e devem) ser mensuradas, que englobam tanto características das instalações (clima, insumos, entre outros), quanto dos animais (medidas fisiológicas, de desempenho, comportamentais, entre outros) e do sistema (histórico de produção, receitas, entre outros) (BENJAMIN e YIK, 2019). Dessa forma, a comunidade científica tem se dedicado intensivamente a desenvolver e adaptar dispositivos eletrônicos para a medição de variáveis específicas das diferentes criações animais. A Tabela 1 cataloga alguns exemplos destas iniciativas, utilizando para isso trabalhos recém-publicados (anos de 2019 e 2020).

Tabela 1. Dispositivos para coleta de dados de interesses zootécnicos

Autores*	Produção	Aplicação	Características
Arai et al. (2019)	Bovinocultura leiteira	Consumo alimentar	Bolus para monitoramento a distância da mobilidade ruminal.
Camargo et al. (2019)	Avicultura de corte	Conforto térmico	Monitoramento do ambiente avícola por uma malha de sensores ao longo do galpão.
Carpentien et al. (2019)	Avicultura de corte	Sanidade	Ferramenta para detecção de espirros a partir de sensores acústicos.
Garrido-Izard et al. (2019)	Suinocultura	Consumo alimentar	Monitoramento de peso baseado em medidas comportamentais e fisiológicas.
Li et al. (2019)	Suinocultura	Reprodução	Câmera para avaliação do comportamento de monta por análise de imagens.
Martos-Sitcha et al. (2019)	Piscicultura	Avaliação fisiológica	Dispositivo para avaliação da frequência respiratória e localização utilizando



McLennan e Mahmoud (2019)	Ovinocultura	Bem-estar	acelerômetros. Identificação automática da expressão de dor utilizando processamento de imagens.
Sanchez et al. (2019)	Avicultura de Postura	Produção	Dispositivo para a determinação da frequência de postura por sensor de proximidade.
Strutzke et al. (2019)	Bovinocultura leiteira	Avaliação fisiológica	Dispositivo eletrônico para monitoramento da frequência respiratória utilizando sensor de pressão.
Youssef et al. (2019)	Suinocultura	Avaliação fisiológica	Dispositivo eletrônico para monitoramento da frequência cardíaca utilizando tecnologia PPG.
Benaissa et al. (2020)	Bovinocultura leiteira	Reprodução	Deteção de estro e prenhes utilizando acelerômetros e sensor de localização.
Bezen et al. (2020)	Bovinocultura leiteira	Consumo alimentar	Câmera para avaliação do comportamento alimentar individual por análise de imagens.
Du et al. (2020)	Avicultura de postura	Conforto térmico	Avaliação do conforto térmico utilizando dados sonoros (vocalização).
Marsot et al. (2020)	Suinocultura	Identificação	Reconhecimento facial por análise e processamento de imagens.
Zhang et al. (2020)	Ovinocultura	Conforto térmico e sanidade	Dispositivo eletrônico (colar) para a coleta de dados do ambiente e fisiológicos dos animais.

* Organizado por ano de publicação e ordem alfabética dos autores

Sobre as medições relacionadas ao ambiente, muito destaque se dá para as características físicas do ar (temperatura ambiente, umidade relativa, velocidade do vento e radiação). Atualmente, o desenvolvimento de dispositivos específicos para a produção animal já adiciona em suas características os princípios de ambiência e termorregulação das espécies, oferecendo, dessa forma, o cálculo direto dos índices de conforto térmico (como o Índice de Temperatura e Umidade e a Entalpia Específica do Ar) e o diagnóstico de estresse térmico (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2018, CASTRO JUNIOR et al., 2019). Muito destes estudos incorporam em sua metodologia a prototipação em plataforma Arduino®, que é economicamente acessível e permite uma série de adaptações para diversas aplicações (CAMARGO et al., 2019).

Ademais, outras variáveis somam-se às condições físicas do ar quando se avalia o ambiente de criação. O nível de pressão sonora (NPS), por exemplo, possui destaque ao avaliar a percepção acústica dos animais, principalmente em relação aos equipamentos das instalações. Donofre et al. (2018) desenvolveram um dispositivo (decibelímetro miniaturizado) para mensuração do NPS no interior de ovos por conta de não ser possível mensurar com o decibelímetro comercial. Além disso, acelerômetros para medir a vibração também estão ganhando destaque, principalmente para avaliação de choques mecânicos

durante o transporte dos animais (DALLA COSTA et al., 2017). Outras variáveis que também valem a pena ser citadas são: teor de gases, fluxo luminoso, umidade da cama, entre outras.

Já para dialogar sobre as medições relacionadas aos animais, este artigo classifica quatro categorias principais de dados: parâmetros fisiológicos, desempenho zootécnico, identificação animal e avaliação comportamental. Primeiro, sobre a coleta de dados fisiológicos, diversos pesquisadores tem se dedicado a automatizar algumas das medições clássicas (exemplo: temperatura retal, frequência cardíaca e frequência respiratória), que muitas vezes exigem a presença de avaliadores treinados (YOUSSEF et al., 2019; STRUTZKE et al., 2019). Ferramentas mais sofisticadas coletam dados que são impossíveis de se realizar manualmente, como a medição de frequência respiratória de peixes (MARTOS-SITCHA et al., 2019) e batimentos cardíacos de embriões de frangos no interior dos ovos (YOUSSEF et al., 2020).

Em segundo, diversos estudos se comprometem com a coleta de dados zootécnicos dos animais (peso, tamanho, conversão alimentar, entre outros). Há uma tendência em substituir as balanças, por exemplo, pela avaliação indireta do peso dos animais, utilizando técnicas de processamento digital de imagens e com estudos bastante avançados para a suinocultura (PEZZUOLO et al., 2018). Em adição, a produção também vem sendo monitorada automaticamente e em tempo real, tanto para ovos comerciais quanto para leite (SANCHEZ et al., 2019).

Em terceiro, a identificação dos animais também é uma temática de estudo que colhe resultados interessantes. Grandes avanços foram obtidos com a identificação eletrônica dos animais utilizando equipamentos Identificação por Radiofrequência (RFID), onde muitos destes foram utilizados como resposta às políticas de rastreabilidade animal. Estima-se que, nas próximas décadas, o RFID possa ser substituído ou complementado com a identificação dos animais por recursos da visão computacional com exemplos da suinocultura (MARSOT et al., 2020) e bovinocultura (KUMAR et al., 2017). Indo além, estudos também utilizam as imagens e o reconhecimento de padrões para identificar emoções e expressões faciais nos animais de produção onde, por exemplo, McLennan e Mahmoud (2019) conseguiram extrair automaticamente a expressão de dor em ovinos.

Por fim, em quarto, a avaliação comportamental evoluiu consideravelmente nas últimas décadas. Neste cenário a avaliação visual *in loco* foi sendo substituída gradativamente pela gravação de vídeos (permitindo maior conveniência ao longo da avaliação), mesmo ainda apresentando a dependência da interpretação humana e que, em determinados momentos,



pode ser subjetiva. Além disso, dispositivos foram desenvolvidos para coleta automática de dados relacionados aos diversos comportamentos dos animais, como: padrões alimentares, como o consumo alimentar, a quantidade de mastigadas e tempo de ruminação (BENAÏSSA et al., 2019); comportamento reprodutivo, como a detecção de estro e monta (LI et al., 2019); comportamento locomotivo e interações sociais, como a identificação de brigas (D'EATH et al., 2018); vocalização (DU et al., 2020), entre outros.

Encerrando esta seção são listadas algumas tendências e indicações de pesquisa que, sob o olhar dos autores deste trabalho, são interessantes quando se trata do desenvolvimento de dispositivos para coleta de dados de interesse produtivo. São eles:

- a) Desenvolvimento de sensores não invasivos: quando se trata da avaliação fisiológica dos animais, muito se discute sobre a eficiência dos métodos de coleta de dados, que podem influenciar a leitura por conta da manipulação direta dos animais. Dessa forma, fortes incentivos são dados a estudos que promovem a substituição destas técnicas pela avaliação não invasiva ou indireta dos animais.
- b) Conversão do comportamento em números: muito se discute dos vieses presentes na observação comportamental dos animais, que exigem treinamento e coesão entre os avaliadores. De forma a “quantizar” o comportamento dos animais, vários sensores são utilizados para substituir a avaliação humana, sendo este um ramo cada vez mais crescente de pesquisa.
- c) Permissão para a interoperacionalidade entre os dispositivos: muitas das novas propostas de dispositivos – tanto acadêmicos quanto comerciais – partem de iniciativas isoladas. Entretanto, para uma gestão 4.0 das fazendas é importante que os diferentes sensores se comuniquem e interajam. Cabe aqui a inclusão do conceito de *open innovation* (inovação aberta), que promove a inovação de forma mais colaborativa e diversa.
- d) Investimento em dados secundários: dispositivos de coleta podem ser caros, dificultando sua implementação nas fazendas. Dessa forma, o uso de dados coletados por terceiros é uma possibilidade (dependendo da utilidade e adequação). Um exemplo muito comum na produção animal é o uso de dados meteorológicos coletados por estações meteorológicas e satélites.

3. TRANSMISSÃO DE DADOS

Uma das principais práticas que caracterizam a Indústria 4.0. é o seu poder de conectividade e transmissão de dados. Este será o segundo elemento discutido neste artigo.



Nesse sentido, muito se tem investido na atualização dos métodos de comunicação de dados já existentes, assim como também no desenvolvimento de novas metodologias. Embora não seja o enfoque deste artigo, vale destacar que avanços em comunicação via Wi-Fi, WiMAX (que difere do Wi-Fi ao permitir uma maior cobertura, de até 50 Km), Bluetooth, satélite, rádio, entre outros, estão sendo feitos de diversas maneiras, seja por iniciativas científicas ou comerciais (CHI e CHEN, 2019). Destaque também vai para a tecnologia de redes móveis 5G, com previsão de chegada ao Brasil nos próximos meses. Espera-se, em um futuro próximo, que a geração 5G, por sua alta capacidade de cobertura e velocidade, possa substituir ou complementar a comunicação Wi-Fi e permitir com facilidade a troca de informações entre vários dispositivos (aproximando ainda mais as redes móveis de comunicação dos princípios de IoT).

Entretanto, devemos questionar como essas comunicações de ponta serão recebidas no setor rural brasileiro, que possui gargalos quanto a sua infraestrutura de comunicação sem fio. De acordo com o último Censo Agropecuário do IBGE (2017), 3,64 milhões de propriedades rurais não possuem acesso à internet, o que representa 71,8% das fazendas no Brasil. Das 10 principais cidades produtoras do país, somente duas (Sapezal e Nova Mutum, ambas no Estado de Mato Grosso) apresentaram mais de 50% de suas propriedades com acesso à internet. Em comparação, o USDA (2019) aponta que 75% das fazendas estadunidenses possuem acesso à internet, com alguns estados chegando a 94% (New Hampshire). Este é, portanto, um dos principais desafios na incorporação de novas tecnologias no campo e da Produção Animal 4.0.

Muitas empresas, ao propor uma solução para o Agro, já adicionam em seu pacote alternativas para os problemas de conectividade. Alguns exemplos destas alternativas são o Projeto Loon, da Google, que envolve o uso de balões de alta altitude para criar uma malha de conexão sem fio com características semelhantes ao 3G; avanços em *Edge Computing*, que aproximam as operações de armazenamento e processamento da fonte dos dados; desenvolvimento de sistemas que armazenam dados e os sincronizam quando ocorre a disponibilidade de internet; entre outros (NAGPAL e SAMDANI, 2017).

4. GERENCIAMENTO DE DADOS

O artigo dialoga agora sobre seu terceiro elemento (Figura 1), de igual importância quando se discute as principais características da Produção Animal 4.0. Neste trabalho, compreende-se como gerenciamento todo o processo de armazenamento, tratamento e



utilização dos dados coletados e transmitidos, que resultam em informações úteis para possíveis tomadas de decisão. Esse item tratará de três conceitos pertencentes ao gerenciamento de dados nos modelos 4.0, e suas aplicações na produção animal: *Big Data*, Inteligência Artificial (IA) e Internet das Coisas (IoT). Vale ressaltar que estes conceitos se interdependem e interagem de forma complexa, embora sejam esboçados neste estudo de forma mais isolada para maior facilidade de leitura.

Análise de *Big Data* é o que possibilita o gerenciamento escalável de informações em Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGDB's) que são caracterizados por seu grande volume, alta velocidade (muitas vezes exigindo respostas em tempo real) e informações cada vez mais variáveis por conta da rápida dinâmica em que são coletados os dados (FAVERJON et al., 2019). Desta forma, o *Big Data* consegue atuar no gerenciamento de dados sobre cinco aspectos: volume, velocidade, variedade, veracidade e valor, sendo este último o mais importante ao nível de análise de dados, pois possibilita agregar valor para um próximo passo de tratamento de informação que pode ser a aplicação de um método de IA, por exemplo.

Quando tal conceito é importado para a produção animal, conforme analisa Koltjes et al. (2019), ferramentas de *Big Data* ganham maior sentido quando se observa a cadeia produtiva em sua visão macro, pois embora seja registrado uma variedade de dados pelos seus elementos constituintes, estes são subutilizados e não integrados ao longo dos seus segmentos. Como um exemplo prático, Faverjon et al. (2019) apresentam o “*Pig Data*”, um projeto de implementação de análises de *Big Data* para a cadeia suinícola da Suíça, reunindo informações das fazendas, transportadoras, frigoríficos, veterinários e outros elementos da indústria. Destaca-se que muitos dos avanços em transmissão e compartilhamento de dados ocorreram por responsabilidade das recentes descobertas em Computação em Nuvem, que permite o acesso e a execução de diversos serviços de computação (como softwares, servidores, estruturas de armazenamento, bancos de dados, redes, entre outros) via internet.

Os desafios abordados pelo *Big Data* na produção animal não são muito diferentes dos enfrentados em outras áreas da Indústria 4.0, pois envolvem tanto os esforços para obter resultados interativos e dinâmicos da produção em tempo real quanto à integração destas informações com dados produtivos já existentes de forma a caracterizar problemas e gargalos produtivos previamente a sua ocorrência.

Já os algoritmos provenientes da IA são amplamente estudados por diversos pesquisadores. Costa (2009) aponta que o objetivo da IA é desenvolver modelos computacionais que utilizam princípios similares da inteligência humana para resolver



problemas complexos, atribuindo aos sistemas de gestão a capacidade de tomar decisões autônomas. Brevemente, ressaltamos que há diversos algoritmos (que são criados e atualizados com uma frequência veloz) que se encaixam em vários ensejos da produção animal, destacando “ondas” de estudos que, ao longo do tempo, focaram na mineração de dados, sistemas especialistas de inferência Fuzzy e as Redes Neurais Artificiais e, atualmente, os modelos estatísticos preditores de informações implementados em Machine Learning. Porém, vale apresentar com mais detalhes as aplicações que utilizam estes e novos algoritmos, com alguns trabalhos destacados na Tabela 2, publicados entre 2019 e 2020.

Tabela 2. Aplicações da Inteligência Artificial na produção animal

Autores*	Produção	Algoritmos testados**	Aplicação
Domun et al., 2019	Suinocultura	Redes Neurais Artificiais	Predição de mordedura de cauda e diarreia em suínos.
Ebrahimi et al., 2019	Bovinocultura leiteira	Aprendizagem Profunda, Classificador Naïve Bayes, Modelo linear generalizado, Regressão logística, Arvore de Decisão, Gradient Boosting e Floresta Aleatória	Predição de contágio por mastite subclínica do rebanho
Lubich et al., 2019	Aves de postura	Redes Neurais Artificiais	Identificação de aves e ovos em uma baia, por análise de vídeo.
Okinda et al., 2019	Aves de corte	Máquina de vetores de suporte , Redes Neurais Artificiais e Regressão logística	Diagnóstico automático de aves identificadas com doença de Newcastle.
Tian et al., 2019	Suinocultura	Redes Neurais Artificiais	Contagem de suínos de forma automatizada
Chen et al., 2020	Suinocultura	Redes Neurais Convolucionais + Long short-term memory	Reconhecimento de comportamento agressivo de suínos na fase de creche
Foldager et al., 2020	Bovinocultura leiteira	Floresta Aleatória	Predição do comportamento alimentar
Keshavarzi et al., 2020	Bovinocultura leiteira	Classificador Naïve Bayes, Rede Bayesiana , Regressão logística, Bagging, Boosting, Stochastic Gradient Descent, Rotation Forest, Redes Neurais Artificiais, OneR e Arvore de Decisão.	Predição de incidência de aborto no rebanho utilizando informações genéticas

* Organizado por ano de publicação e ordem alfabética dos autores

** Nos artigos que avaliaram mais de um algoritmo, foi destacado em negrito aquele que apresentou o melhor resultado (maior acurácia)

Observa-se, portanto, que algoritmos de IA vêm sendo desenvolvidos e validados para as mais diferentes necessidades da produção animal: diagnóstico e predição de doenças, estimativa de produtividade, reconhecimento de animais, classificação e identificação de

comportamentos atípicos, entre outros. É nesse momento que os dados começam a estabelecer relações entre si e a gerar informações, sem a necessidade de intervenção humana. Uma das vantagens destas técnicas é o seu poder de classificação, isto é, reconhecer padrões e classificar dados novos a partir um banco de dados previamente obtido, conforme aplicações apresentadas nos trabalhos de Lubich et al. (2019), Okinda et al. (2019) e Du et al. (2020). Outra vantagem é o seu poder preditivo, que permite tomar decisões antes que situações críticas aconteçam. Algoritmos preditivos são utilizados nos trabalhos de Domun et al. (2019), Ebrahimi et al. (2019) e Keshavarzi et al. (2020), por exemplo. Embora não descritos diretamente neste trabalho, a IA ainda abre caminhos para compreensão e aplicação de novos conceitos muito discutidos no cenário 4.0, como *machine learning* e *deep learning* (uma subárea do *machine learning*).

O terceiro e último conceito a ser discutido neste item é a Internet das Coisas (IoT). Este conceito engloba a ação conjunta da maioria dos demais conceitos que foram apresentados neste artigo, pois a implementação integral de sistemas baseados em IoT depende da coleta constante e automática de múltiplos dados, por meio de sensores devidamente integrados, conectados e com sua transmissão para servidores remotos, cuja massa de dados possa ser gerenciada por ferramentas eficientes e inteligentes.

Como exemplos de implementação de IoT na produção animal, Righi et al. (2020) elaboraram um sistema, denominado de modelo *MooCare*, para monitoramento automático e individual da alimentação de vacas leiteiras. A coleta em tempo real dos dados zootécnicos permitiu que fosse possível prever a produção de leite de cada animal, emitindo avisos ao proprietário rural para elaborar novas dietas quando necessário. Já Ilapakurti e Vappalapati (2015) apresentaram um sistema para o gerenciamento do conforto térmico de vacas leiteiras na Índia, utilizando diferentes fontes de dados (primários e secundários). O sistema ainda relacionou o estresse térmico dos animais com possíveis riscos de investimento da propriedade rural.

Propostas também são apresentadas para outras espécies. Chen et al. (2017) elaboraram um sistema de IoT para o gerenciamento contínuo e remoto das condições de saúde de suínos. Entre diversas variáveis, o sistema faz o monitoramento dos batimentos cardíacos dos animais e o seu comportamento, indicando possíveis irregularidades. Almejando melhorias na sanidade animal, Raj e Jayanthi (2018) elaboraram um sistema para monitoramento em tempo de real de frangos de corte, utilizando para isso sensores do ambiente, câmeras termográficas e microfones, posteriormente correlacionando tais dados



com possíveis doenças. Por fim, maiores detalhes sobre diferentes arquiteturas de sistemas inspirados no conceito IoT e suas aplicações na produção animal são descritas por Shi et al. (2019b).

Como conclusão deste item, são apontadas algumas questões de pesquisa sobre o gerenciamento de dados que, embora já estejam sendo gradualmente respondidas em outras áreas comerciais, ainda carece de maiores incentivos na Produção Animal 4.0.

- a) Protocolos e ações quanto à segurança dos dados: sabendo que a Produção Animal 4.0 abre possibilidades de troca de informações de forma mais complexa e intensa entre os elos da cadeia de produção, é importante estabelecer limites e protocolos para garantir a seguridade e privacidade destes dados, no intuito de beneficiar todos os envolvidos.
- b) Protocolos e ações quanto à qualidade dos dados: o sucesso da tomada de decisão, que é o ensejo final da Produção Animal 4.0, depende da qualidade dos dados que são utilizados e geridos ao longo de todo o processo. Engana-se, portanto, que a qualidade deve ser observada somente na sua coleta, pois diversas problemáticas podem ocorrer ao longo de todo o processamento. Será necessário, portanto, estabelecer protocolos que minimizem os problemas de acurácia, completude, atualidade, consistência, confiança e acessibilidade dos nossos bancos de dados.

5. APRESENTAÇÃO DE DADOS

O quarto e último elemento que este artigo discute, dentro do contexto da Produção Animal 4.0, é a visualização e apresentação dos dados. Vindo posteriormente ao tratamento dos dados, essa etapa muitas vezes é subestimada em relação à quantidade de pesquisas específicas, quando comparada aos demais elementos. Entretanto, a forma como os dados são apresentados para os consumidores (no nosso caso, produtores rurais, técnicos de campo, veterinários, entre outros) é de grande importância, pois serve para validar, de fato, o sucesso dos elementos antecessores.

Van Hertem et al. (2017) destacam que a visualização e apresentação dos dados é a chave para a melhor recepção das tendências tecnológicas nas fazendas. Isso ocorre porque, embora sejam desenvolvidos aparatos tecnológicos cada vez mais completos (e também complexos), muitos produtores rurais não possuem tempo ou habilidades para utilizar tais tecnologias, por mais úteis que sejam. Neste caso, é importante não reduzir a complexidade da inovação tecnológica, mas sim tornar seus resultados finais de fácil compreensão e maior



acessibilidade para o usuário final. É aqui que as interfaces homem-máquina ganham destaque.

Diversas empresas têm investido em plataformas de gestão de dados que facilitem a vida dos produtores rurais, de diversos perfis e demandas tecnológicas (com softwares que permitem alimentação manual até plataformas que automatizam todo o sistema de coleta, gerenciamento e decisão). Além disso, uma tendência mundial é a migração dos softwares desenvolvidos de computadores pessoais para os dispositivos móveis, como tablets e smartphones. Comumente chamados de *apps*, os aplicativos móveis permitem uma utilização mais frequente e próxima do campo, possibilitando o uso de alguns recursos próprios dos aparelhos smartphones (como câmera fotográfica e GPS), oferecendo algumas possibilidades de trabalho off-line e maiores possibilidades de customização para os diferentes clientes (LIU et al., 2014).

Exemplos de softwares desenvolvidos para a produção animal são vários, seja para comercialização e busca de insumos agrícolas, gestão do ambiente de alojamento, mapeamento genético de rebanhos, balanceamento e formulação de rações, controle de reprodução, identificação de doenças, estimativa de produção e produtividade, identificação animal e vários outros (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2018; CRUM et al., 2019; LIU et al., 2019; SHI et al., 2019a; BATUTO et al., 2020).

Contudo, embora seja uma realidade na prática, o uso dos apps na produção animal ainda carece de algumas respostas científicas como, por exemplo, no desenvolvimento de novas soluções na validação e recepção destas inovações pelos usuários em potencial. Destacam-se como tendências e oportunidades de pesquisa dentro da área de visualização de dados, no contexto da Produção Animal 4.0:

- a) Validação pelos usuários: reconhecendo que as propostas tecnológicas podem não ser aproveitadas da melhor forma caso elas não sejam compatíveis com a realidade do consumidor final, sendo importante incluir metodologias de validação destas ferramentas pelos usuários. Academicamente, há diversas metodologias desenvolvidas para testes de usabilidade de softwares.
- b) Incentivo à digitalização no campo: culturalmente, muitos produtores rurais permanecem céticos quanto às vantagens dos avanços tecnológicos para sua produção. Nesse contexto, a Produção Animal 4.0 pode acarretar em uma responsabilidade social de levar a inclusão digital para dentro das propriedades rurais. Neste viés de estudo, a digitalização do campo



tende a alterar como o homem do campo interage não só com as tecnologias em si, mas com os seus animais e o mundo ao seu redor.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo de revisão resgata, de forma bastante sucinta, os principais conceitos, aplicações atuais e tendências futuras sobre a Produção Animal 4.0. Reforça-se a intenção dos autores de tratar sobre esta temática, ainda em construção, de forma mais geral e fragmentada, uma vez que cada um dos tópicos introduzidos neste trabalho nos guia a novos conceitos e caminhos investigativos mais profundos.

Como conclusão, é conveniente ressaltar que a Produção Animal 4.0 vai além da tecnologia propriamente dita e suas ferramentas de hardware e/ou software. Este conceito representa uma mudança de paradigma sobre a forma que a produção animal é conduzida, exigindo novas reflexões e iniciativas de todos os elementos da cadeia produtiva. O diálogo crescente entre tais elementos é o que dá origem aos ecossistemas de inovação e gera novas oportunidades de empreendedorismo no agronegócio.

Assim como no processo de construção deste artigo e de vários outros citados ao longo desta revisão, a Produção Animal 4.0 só se torna possível através da colaboração multidisciplinar. Portanto, trata-se aqui de um conceito que não é excludente, mas sim dependente da interação e ação conjunta de profissionais das mais diversas áreas do conhecimento. Dessa maneira, esperamos o presente texto desperte o interesse sobre essa temática para os mais diferentes perfis de profissionais, além de ser ponto de partida para novas investigações e, principalmente, promover novas soluções e propostas inovadoras na cadeia de produção animal.

REFERÊNCIAS

ARAI, Shozo et al. Evaluation of ruminal motility in cattle by a bolus-type wireless sensor. **Journal of Veterinary Medical Science**, v. 81, n.12, p. 1835–1841, 2019.

BAHRIN, Mohd Aiman Kamarul et al. Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. **Journal Teknologi**, v.78, n. 6-13, p. 137–143, 2016.

BATUTO, Adrian et al. e-Poultry: An IoT Poultry Management System for Small Farms. In: **2020 IEEE 7th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)**. IEEE, 2020. p. 738-742.



- BENAISSA, Said et al. Calving and estrus detection in dairy cattle using a combination of indoor localization and accelerometer sensors. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 168, p. 105153, 2020.
- BENAISSA, Said et al. Classification of ingestive-related cow behaviours using RumiWatch halter and neck-mounted accelerometers. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 211, p. 9-16, 2019.
- BENJAMIN, Madonna; YIK, Steven. Precision livestock farming in swine welfare: a review for swine practitioners. **Animals**, v. 9, n. 4, p. 133, 2019.
- BERCKMANS, Daniel. General introduction to precision livestock farming. **Animal Frontiers**, v. 7, n. 1, p. 6-11, 2017.
- BEZEN, Ran; EDAN, Yael; HALACHMI, Ilan. Computer vision system for measuring individual cow feed intake using RGB-D camera and deep learning algorithms. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 172, p. 105345, 2020.
- BOLAND, Mike J. et al. The future supply of animal-derived protein for human consumption. **Trends in Food Science & Technology**, v. 29, n. 1, p. 62-73, 2013.
- CAMARGO, Tiago F. B. et al. Thermal comfort monitoring in aviaries by a real-time data acquisition system. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 9, p. 694-701, 2019.
- CAPUTO, Vincenzina et al. Comparing serial, and choice task stated and inferred attribute non-attendance methods in food choice experiments. **Journal of Agricultural Economics**, v. 69, n. 1, p. 35-57, 2018.
- CARPENTIER, Lenn et al. Development of sound-based poultry health monitoring tool for automated sneeze detection. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 162, p. 573-581, 2019.
- CASTRO JÚNIOR, Sergio Luís; BALTHAZAR, Glauber Rocha; SILVA, Iran José Oliveira. Diagnóstico preditivo em tempo real do conforto térmico de animais de produção em sistema operacional Android. In: Jaqueline de Oliveira Castro e Patrícia Ferreira Ponciano Ferraz. (Org.). **Anais II SIAPAS e VI SIMCRA**. 1ed.Lavras: DEA-UFLA, 2019, v. 1, p. 150-155
- CHEN, Chen et al. Recognition of aggressive episodes of pigs based on convolutional neural network and long short-term memory. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 169, p. 105166, 2020.
- CHEN, G. P. et al. Designing and Validation of the Remote Monitoring System for Pigs' Survival Based on IoT Technology. **Scientia Agricultura Sinica**, v. 50, n. 5, p. 942-950, 2017.
- CHI, Tao; CHEN, Ming. A frequency hopping method for spatial RFID/WiFi/Bluetooth scheduling in agricultural IoT. **Wireless Networks**, v. 25, n. 2, p. 805-817, 2019.
- CORNISH, Amelia Rose et al. The price of good welfare: Does informing consumers about what on-package labels mean for animal welfare influence their purchase intentions?. **Appetite**, v. 148, p. 104577, 2020.
- COSTA, Ernane José Xavier. Inteligência artificial aplicada à Zootecnia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. SPE, p. 390-396, 2009.
- CRUM, Tamar E. et al. CRUMBLER: a tool for the prediction of ancestry in cattle. **PloS one**, v. 14, n. 8, p. e0221471, 2019.



- DALLA COSTA, Filipe Antônio; LOPES, Letícia S.; DALLA COSTA, Osmar Antônio. Effects of the truck suspension system on animal welfare, carcass and meat quality traits in pigs. **Animals**, v. 7, n. 1, p. 5, 2017.
- D'EATH, Richard B. et al. Automatic early warning of tail biting in pigs: 3D cameras can detect lowered tail posture before an outbreak. **PLoS one**, v. 13, n. 4, p. e0194524, 2018.
- DOMUN, Yuvraj et al. Learning patterns from time-series data to discriminate predictions of tail-biting, fouling and diarrhoea in pigs. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 163, p. 104878, 2019.
- DONOFRE, Ana Carolina; SILVA, Iran José Oliveira; CASTRO JÚNIOR, Sérgio Luís. The sensor to estimate the sound pressure level in eggs. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 154, p. 420-425, 2018.
- DU, Xiaodong et al. Assessment of laying hens' thermal comfort using sound technology. **Sensors**, v. 20, n. 2, p. 473, 2020.
- EBRAHIMI, Mansour et al. Comprehensive analysis of machine learning models for prediction of sub-clinical mastitis: Deep Learning and Gradient-Boosted Trees outperform other models. **Computers in biology and medicine**, v. 114, p. 103456, 2019.
- FAVERJON, Céline et al. A transdisciplinary approach supporting the implementation of a Big Data project in livestock production: an example from the Swiss pig production industry. **Frontiers in veterinary science**, v. 6, p. 215, 2019.
- FOLDAGER, Leslie et al. Random forests prediction of daily eating time of dairy cows from 3-dimensional accelerometer and radiofrequency identification. **Journal of Dairy Science**, v. 103, n. 7, p. 6271-6275, 2020.
- GARRIDO-IZARD, Miguel et al. Continuous Monitoring of Pigs in Fattening Using a Multi-Sensor System: Behavior Patterns. **Animals**, v. 10, n. 1, p. 52, 2020.
- GONGAL, A. et al. Sensors and systems for fruit detection and localization: A review. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 116, p. 8-19, 2015.
- ILAPAKURTI, Anitha; VUPPALAPATI, Chandrasekar. Building an IoT framework for connected dairy. In: **2015 IEEE First International Conference on Big Data Computing Service and Applications**. IEEE, 2015. p. 275-285.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário 2017**. 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em: 12 de out. 2020
- KESHAVARZI, Hamideh et al. Machine learning algorithms, bull genetic information, and imbalanced datasets used in abortion incidence prediction models for Iranian Holstein dairy cattle. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 175, p. 104869, 2020.
- KOLTES, James E. et al. A vision for development and utilization of high-throughput phenotyping and big data analytics in livestock. **Frontiers in Genetics**, v. 10, 2019.
- KUMAR, Santosh et al. Real-time recognition of cattle using animal biometrics. **Journal of Real-Time Image Processing**, v. 13, n. 3, p. 505-526, 2017.
- LI, Dan et al. Mounting behaviour recognition for pigs based on deep learning. **Sensors**, v. 19, n. 22, p. 4924, 2019.



- LIU, Bowen; WEI, Jiangshu; ZHAO, Shun. Research and application of early warning system for abnormal temperature of breeding pigs based on deep learning. In: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, 2019. p. 032030.
- LIU, Charles Zhechao; AU, Yoris A.; CHOI, Hoon Seok. Effects of freemium strategy in the mobile app market: An empirical study of google play. **Journal of Management Information Systems**, v. 31, n. 3, p. 326-354, 2014.
- LUBICH, Jeremy; THOMAS, Kyle; ENGELS, Daniel W. Identification and Classification of Poultry Eggs: A Case Study Utilizing Computer Vision and Machine Learning. **SMU Data Science Review**, v. 2, n. 1, p. 20, 2019.
- MARSOT, Mathieu et al. An adaptive pig face recognition approach using Convolutional Neural Networks. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 173, p. 105386, 2020.
- MARTOS-SITCHA, Juan Antonio et al. Ultra-low power sensor devices for monitoring physical activity and respiratory frequency in farmed fish. **Frontiers in physiology**, v. 10, p. 667, 2019.
- MCLENNAN, Krista; MAHMOUD, Marwa. Developmetn of an automated pain facial expression detection system for sheep (*Ovis aries*). **Animals**, v. 9, n. 4, p. 196, 2019.
- NAGPAL, Lavina; SAMDANI, Krishna. Project Loon: Innovating the connectivity worldwide. In: **2017 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)**. IEEE, 2017. p. 1778-1784.
- OKINDA, Cedric et al. A machine vision system for early detection and prediction of sick birds: A broiler chicken model. **Biosystems Engineering**, v. 188, p. 229-242, 2019.
- OLIVEIRA JÚNIOR, Arilson José et al. Development of an android APP to calculate thermal comfort indexes on animals and people. **Computers and electronics in agriculture**, v. 151, p. 175-184, 2018.
- OLIVEIRA, Ricardo Osório de; SPERS, Eduardo Eugenio. Brand equity in agribusiness: Brazilian consumer perceptions of pork products. **Revista de Administração de Empresas**, v. 58, n. 4, p. 365-379, 2018.
- ONU, 2019. **População mundial deve chegar a 9,7 bilhões de pessoas em 2050**. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/populacao-mundial-deve-chegar-a-97-bilhoes-de-pessoas-em-2050-diz-relatorio-da-onu>. Acesso em 25 Nov 2019
- PEZZUOLO, Andrea et al. On-barn pig weight estimation based on body measurements by a Kinect v1 depth camera. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 148, p. 29-36, 2018.
- RAJ, A. Arun Gnana; JAYANTHI, J. Gnana. IoT-based real-time poultry monitoring and health status identification. In: **2018 11th International Symposium on Mechatronics and its Applications (ISMA)**. IEEE, 2018. p. 1-7.
- RIGHI, Rodrigo et al. Towards combining data prediction and internet of things to manage milk production on dairy cows. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 169, p. 105156, 2020.
- ROSE, David Christian; CHILVERS, Jason. Agriculture 4.0: Broadening responsible innovation in an era of smart farming. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 2, p. 87, 2018.



- SANCHEZ, S. A. et al. Development of a prototype of an electronic module that allows to calculate the frequency of spawning in laying hens. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2019. p. 012011.
- SANTOS, Beatrice Paiva et al. Indústria 4.0: desafios e oportunidades. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, n. 1, p. 111-124, 2018.
- SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO DE MINAS GERAIS (SEAPA). **Perfil Agronegócio Mundial**. 2018. Disponível em: <http://www.agricultura.mg.gov.br/images/Arq_Relatorios/Perfil/Mundial/perfil_mundial_out_2017.pdf>. Acesso em: 04 fev. 2019.
- SHI, Chen; ZHANG, Jianlong; TENG, Guanghui. Mobile measuring system based on LabVIEW for pig body components estimation in a large-scale farm. **Computers and electronics in agriculture**, v. 156, p. 399-405, 2019a.
- SHI, Xiaojie et al. State-of-the-art internet of things in protected agriculture. **Sensors**, v. 19, n. 8, p. 1833, 2019b.
- SIEGRIST, Michael; HARTMANN, Christina. Impact of sustainability perception on consumption of organic meat and meat substitutes. **Appetite**, v. 132, p. 196-202, 2019.
- SILVA, Iran José Oliveira da; NÄÄS, Irenilza de Alencar. Zootecnia de Precisão: um novo conceito e um desafio para a Ambiência na engenharia agrícola. In: **Notasalq**, n.2. Agosto, 1998.
- STRUTZKE, S. et al. Development of a noninvasive respiration rate sensor for cattle. **Journal of dairy science**, v. 102, n. 1, p. 690-695, 2019.
- TIAN, Mengxiao et al. Automated pig counting using deep learning. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 163, p. 104840, 2019.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Farm Computer Usage and Ownership. 2019. Disponível em: https://www.nass.usda.gov/Publications/Todays_Reports/reports/fmpc0819.pdf. Acesso em: 12 de out. 2020.
- USDA, 2015. **USDA Agricultural Projections to 2024**. Accessed 15 jun 2020.
- VAN HERTEM, Tom et al. Appropriate data visualisation is key to Precision Livestock Farming acceptance. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 138, p. 1-10, 2017.
- WANG, Jianhua; GE, Jiaye; MA, Yuting. Urban Chinese consumers' willingness to pay for pork with certified labels: A discrete choice experiment. **Sustainability**, v. 10, n. 3, p. 603, 2018.
- WOLFERT, Sjaak et al. Big data in smart farming—a review. **Agricultural Systems**, v. 153, p. 69-80, 2017.
- WONG, S. S.; AINI, M. S. Factors influencing purchase intention of organic meat among consumers in Klang Valley, Malaysia. **International Food Research Journal**, v. 24, n. 2, 2017.
- YASSIN, H. et al. Standardized data in the broiler value chain. **Poultry science**, v. 90, n. 2, p. 498-506, 2011.
- YOUSSEF, Ali et al. Heart rate monitoring in pigs using photo pethysmography (PPG) technology. **Precision Livestock Farming'19**, p. 842-850, 2019.



YOUSSEF, Ali; BERCKMANS, Daniel; NORTON, Tomas. Non-Invasive PPG-Based System for Continuous Heart Rate Monitoring of Incubated Avian Embryo. **Sensors**, v. 20, n. 16, p. 4560, 2020.

ZHANG, Mengjie et al. Comfort and health evaluation of live mutton sheep during the transportation based on wearable multi-sensor system. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 176, p. 105632, 2020.

ENDEREÇO DOS AUTORES

Autor: Sérgio Luís de Castro Júnior

E-mail: sergio.castro@usp.br