

**DETERMINANTES DA ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS DE PRECISÃO NA BOVINOCULTURA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA**  
***DETERMINANTS OF THE ADOPTION OF PRECISION TECHNOLOGY IN THE CATTLE FARMING: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW***

**Autor(es):** Leticia Caroline da Silva David; Marcela de Mello Brandão Vinholis; Marcelo José Carrer; Rodrigo Damasceno

**Filiação:** PPGEP-DEP/UFSCar; Embrapa Pecuária Sudeste; PPGEP-DEP/UFSCar; PPGEP-DEP/UFSCar

**E-mail:** leticiadavid@estudante.ufscar.br; marcelocarrer@dep.ufscar.br; marcela.vinholis@embrapa.br; damascenorodrigo1993@gmail.com

**Grupo de Trabalho (GT):** GT12. Impactos socioambientais das novas tecnologias no agronegócio

**Resumo**

Este artigo tem como objetivo identificar as principais tecnologias digitais adotadas por bovinocultores no mundo e os fatores que influenciam a adoção. O método adotado foi a revisão sistemática de literatura. Os resultados sugerem que o conjunto de tecnologias adotadas está associado ao sistema de produção. Sistemas de produção de gado de corte estão associados às tecnologias de Aquisição de dados e comunicação tecnológica e de Sistemas de Informação, enquanto que sistemas de produção de gado de leite às tecnologias de Automação, Controle e Robótica e de Aquisição de dados e comunicação tecnológica. Dentre os fatores que influenciam a adoção tem-se as características socioeconômicas do produtor, como idade, grau de escolaridade e gênero, características da produção e da propriedade rural, como escala de produção, condições e tipo de instalações. Ainda foram destacadas barreiras à adoção associadas ao elevado investimento inicial, a relação custo-benefício, a desconfiança quanto à privacidade dos dados e a falta de conhecimento associado à complexidade de uso de algumas tecnologias.

**Palavras-chave:** Bovinocultura, adoção de tecnologia, agricultura de precisão, revisão sistemática.

**Abstract**

This article aims to identify which digital technologies are being adopted by cattle farmers around the world and also verify which are the main factors that influence this adoption. To achieve these objectives, a systematic literature review was carried out. From the review it can be obtained as a result that there are different adoption of technology depending on the production system, with beef cattle producers tending to adopt Data Acquisition and Technological Communication and Information Systems technologies and dairy cattle producers adopt more Automation, Control and Robotics and Data Acquisition technologies with a focus on livestock monitoring. Furthermore, it can be seen that the factors that most influence adoption are characteristics of production and rural property and socioeconomic characteristics and conditions of the producer.

**Key words:** Cattle farming, technology adoption, precision agriculture, systematic review.

## 1. Introdução

O setor pecuário tem grande importância para o Brasil, tanto como fonte de alimento, renda e emprego para o mercado interno, como na exportação de alimento para o mundo e geração de divisas para o país. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de leite e o maior produtor comercial de carne bovina (ABIEC, 2023; IBGE, 2021). Esta grandeza da pecuária nacional traz consigo o desafio da produção mais sustentável e com menor impacto ambiental. A adoção de tecnologias de precisão e digital pode contribuir para ganhos de eficiência e agregação de valor, em direção à produção mais sustentável.

A pecuária de precisão refere-se à aplicação estratégica e integrada de tecnologias avançadas, como sensores, automação, análise de dados e sistemas de informação, para otimizar a gestão e o desempenho de operações pecuárias. Essa abordagem visa melhorar a eficiência, a produtividade e o bem-estar dos animais, promovendo uma gestão mais precisa e informada das atividades pecuárias (Morrone et al., 2022).

A decisão de adoção de tecnologias agropecuárias pode ser influenciada tanto positiva quanto negativamente por um conjunto de fatores, que incluem características socioeconômicas e condições do produtor, características da produção e da propriedade rural, características da tecnologia, e fatores ambientais ou sistêmicos (Geroski, 2000; Souza Filho et al., 2011). Estudos empíricos e de revisão de literatura têm demonstrado alguns fatores que impactam a decisão de adoção de tecnologias digitais na agricultura (Barnes et al., 2019; Carrer et al., 2017; Giua et al., 2021; Mozambani et al., 2023; Tey & Brindal, 2012; 2022; Vinholis et al., 2017). Não se verificou na literatura estudo de revisão dedicado a investigar a adoção das tecnologias digitais na pecuária bovina.

O conhecimento sobre o estado da arte em adoção das tecnologias digitais na pecuária bovina e os fatores que a influenciam contribuem para o desenho de ações do setor e políticas específicas para o fomento da adoção dessas tecnologias. Este estudo tem por objetivo identificar as principais tecnologias digitais adotadas por bovinocultores no mundo e os fatores que influenciam a adoção. Seguindo a classificação de categorias proposta por Moreno (2024), esta pesquisa focará na adoção das tecnologias classificadas nas categorias: Automação, Controle e Robótica; Computação e tecnologia em nuvem; Aquisição de dados e comunicação; Ciência de dados e Inteligência artificial; Sistemas de Informação.

O artigo está organizado em outras três seções além desta introdução. A próxima seção apresenta o procedimento metodológico. Na terceira seção são apresentados os resultados descritivos dos artigos utilizados e a análise de conteúdo dos mesmos. E, a quarta seção apresenta a conclusão.

## 2. Material e Métodos

A metodologia escolhida para o presente estudo foi a Revisão Sistemática de Literatura, que através de uma abordagem rigorosa busca identificar, analisar e sintetizar de maneira imparcial e abrangente todas as evidências disponíveis relacionadas a uma pergunta específica de pesquisa. A realização da revisão sistemática foi feita utilizando o protocolo Prisma (MOHER, et al., 2010).

A partir de conhecimentos obtidos através da revisão de escopo puderam ser levantadas duas questões de pesquisa que nortearam esse trabalho. São elas:

- Q1: Quais são as tecnologias digitais adotadas por produtores na bovinocultura?
- Q2: Quais são os determinantes de adoção de tecnologias digitais na bovinocultura?

As bases utilizadas como fonte de dados para a pesquisa foram a Scopus e a Web of Science (WoS), sendo estas escolhidas por serem as mais conceituadas no mundo. A busca realizada consistiu em pesquisar no título, resumo e palavras chaves dos artigos, os termos contidos na string referente a cada um dos construtos dispostos na tabela 1. Além disso, também

foram aplicados os seguintes filtros para a seleção dos artigos a serem analisados no estudo, artigos escritos na língua inglesa e que tivessem passado pelo procedimento de revisão por pares, por consequência sendo excluídos capítulos de livros, artigos resultantes de conferências e demais “objetos” que não se enquadram em revisado por pares. Ademais, a busca foi realizada sem a restrição de uma data inicial de publicação, porém com data limite de publicação dos artigos até o dia 31/12/2023. Não foram aplicados filtros quanto aos indicadores das revistas as quais os artigos são provenientes e nem em relação ao acesso ao artigo.

TABELA 1 - Protocolo da revisão sistemática

Questão	Construtos	String
Quais as tecnologias digitais adotadas por bovinocultores?	Tecnologia digital	((Digit* OR Precision OR Smart OR Intelligent OR Automat* OR “4.0”) w/0 (Agri* OR Livestock OR Farm* OR Rural))
Quais são os determinantes de adoção de tecnologias digitais na bovinocultura?	Adoção	(Adopt* OR Diffus* OR Transf* OR Dissemin*)
	Bovinocultura	(Beef OR Dairy OR Cattle OR Livestock OR Ruminant* OR (Animal W/0 Husbandry) OR Breed*)

Fonte: Autoria própria

A busca inicial retornou 654 documentos na base Scopus e 470 na WoS. Após a exclusão dos documentos não revisados por pares foram mantidos 372 documentos na Scopus e 322 na WoS. Após a remoção dos documentos que não eram em língua inglesa foram mantidos 342 e 315, respectivamente. Em seguida foram excluídos 246 artigos duplicados nas bases, restando 411 artigos candidatos à análise de conteúdo.

A partir da leitura de títulos e resumos, 361 estudos foram excluídos por falta de aderência ao tema (adoção de tecnologia digital no sistema de produção de bovinocultura). Os 50 artigos restantes foram analisados considerando suas introduções, metodologias e conclusões para responder às questões deste estudo. Apenas 14 artigos atenderam o propósito da investigação.

Com o intuito de aumentar o tamanho amostral de artigos, a técnica de amostragem por *snowball* possibilitou a inclusão de outros 5 estudos na investigação. A leitura completa do conjunto de 19 estudos possibilitou identificar as principais tecnologias digitais adotadas na bovinocultura e os fatores que influenciam a adoção. A análise do conteúdo dos artigos e a discussão são apresentadas na próxima seção. O software estatístico R (R Core Team, 2022) foi utilizado na realização das estatísticas descritivas e na geração dos gráficos.

### 3. Resultados e discussão

O conjunto de 19 artigos foi reconhecido como fortemente relacionado ao tema abordado nesta revisão. Os 14 resultantes da busca nas bases Scopus ou WoS são: Abeni, Petrera, Galli (2019), Bianchi et al. (2022), Gabriel, Gandorfer (2023), Groher, Heitkamper, Umstatter (2020), Jelinski et al. (2020), Makinde, Islam, Wood (2022), Marescotti et al. (2021), Mendes et al. (2022), Newton, Nettle, Pryce (2020), Piña et al. (2023), Rajchamaha, Makararpong (2023), Rue et al. (2020), Silvi et al. (2021), Vrchota, Pech, Svepesova (2022). Os 5 artigos adicionados por meio da técnica *snowball* foram: Boyer et al. (2024), Drewry,

Shutske, Trechter (2019), Edwards, Dela Rue, Jago (2015), Gargiulo et al. (2018), Steeneveld, Hogeveen (2015). A Tabela 2 caracteriza os artigos.

Com a intenção de conduzir uma análise isenta de influências de adoção de tecnologias digitais em outras culturas, 78,95% dos estudos concentram-se exclusivamente no tema da bovinocultura, fornecendo informações específicas apenas sobre criadores de gado bovino. Os 21,05% restantes dos artigos que não se restringem aos dados exclusivos de produtores de bovinos apresentam uma discriminação dos valores dos respondentes em relação à bovinocultura. Assim, 26,32% dos estudos representam amostras com criadores de gado para produção de leite ou carne, 57,89% abrangem especificamente produtores de gado leiteiro, e apenas 15,79% são baseados em dados de criadores de gado de corte.

TABELA 2 - Descrição dos estudos resultantes da revisão sistemática da literatura.

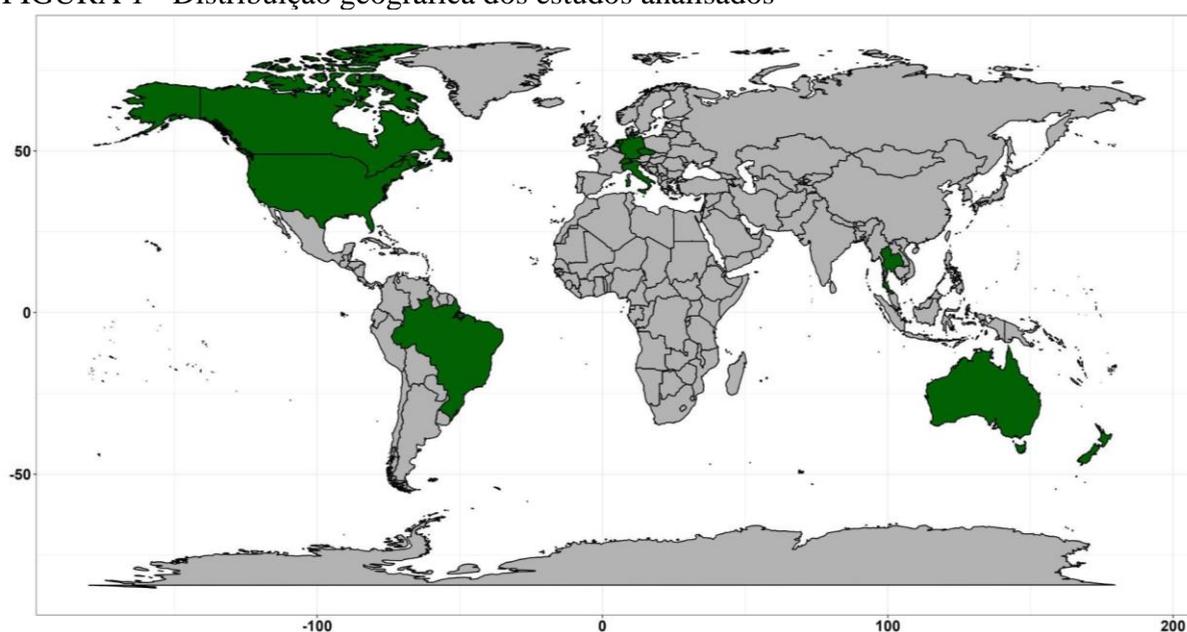
Ano	Autores	Exclusivo bovinos	Método de análise	Tamanho amostral	Região de estudo	Coleta dos dados
2019	ABENI, PETRERA, GALLI	Sim	Regressão logística	490 (Leite)	Itália (Cremona)	Questionário (Presencial)
2022	BIANCHI, et al.	Sim	Modelo Linear Generalizado, Análise de componentes principais, Análise de correspondência múltipla	52 (Leite)	Itália (Lombardy)	Questionário (Eletrônico)
2024	BOYER, et al.	Sim	Regressão logística	201(Corte)	EUA (Tennessee)	Questionário (Eletrônico)
2019	DREWRY, SHUTSKE, TRECHTER	Não	Regressão logística	1021 (Total) 387 (Leite) 405 (Corte)	EUA (Wisconsin)	Questionário (Carta)
2015	EDWARDS, DELA RUE, JAGO	Sim	Qui-quadrado, Anova, Análise de cluster	278 (Leite)	Nova Zelândia	Questionário (Telefone)
2023	GABRIEL, GANDORFER	Não	Bootstrap	2390 (Total) 888 (Leite) 199 (Corte)	Alemanha (Bayern)	Questionário (Eletrônico)
2018	GARGIULO, et al.	Sim	Modelo Linear Generalizado	301 (Leite)	Austrália	Questionário (Eletrônico)
2020	GROHER, HEITKAMPER, UMSTATTER	Não	Regressão logística	1497 (Total) 247 (Leite) 195 (Corte)	Suíça	Questionário (Eletrônico)
2020	JELINSKI, et al.	Sim	Regressão logística	26935 (Leite)	Canadá	Microdados StatsCan 2016
2022	MAKINDE, ISLAM, WOOD	Sim	Estatísticas descritivas	52 (Corte)	Canadá (Ontário)	Questionário (Eletrônico e presencial)
2021	MARESCOTTI, et al.	Sim	Análise de cluster	63 (Leite)	Itália (Lombardy)	Questionário (Presencial)
2022	MENDES, et al.	Sim	Regressão Poisson e Binária hurdle	175	Brasil (São Paulo)	Questionário (Presencial)
2020	NEWTON, NETTLE, PRYCE	Sim	Estudo de caso	7 (Leite)	Austrália	Estudo de caso
2023	PIÑA, et al.	Sim	Regressão probit	84 (Corte)	EUA (New Mexico, Texas, Oklahoma)	Questionário (Eletrônico)

2023	RAJCHAMAHA, MAKARARPONG	Sim	Regressão linear múltipla	461 (Leite)	Tailândia (Nakhon Ratchasima, Saraburi)	Questionário (Presencial)
2020	RUE, et al.	Sim	Estatísticas descritivas	500 (Leite)	Nova Zelândia	Questionário (Telefone)
2021	SILVI, et al.	Sim	Análise de cluster	378 (Leite)	Brasil	Questionário (Eletrônico)
2015	STEENEVELD, HOGEVEEN	Sim	Análise discriminante linear	512 (Leite)	Holanda	Questionário (Eletrônico)
2022	VRCHOTA, PECH, SVEPESOVA	Não	Qui-quadrado	131	República Tcheca	Questionário (Eletrônico)

Fonte: Autoria própria

O artigo mais antigo utilizado para esta revisão foi publicado no ano de 2015. Os anos de 2020 e 2023 registraram uma frequência mais proeminente de artigos na amostra. Embora tenha-se observado uma diminuição na quantidade de artigos entre 2020 e 2021, há uma tendência crescente nas publicações associadas ao tema, notavelmente a partir de 2018. Não se constatarem publicações correspondentes aos anos de 2016 e 2017.

FIGURA 1 - Distribuição geográfica dos estudos analisados



Fonte: Autoria própria

Com relação a localização dos artigos, Figura 1, os países com maior quantidade de estudos realizados são Itália e Estados Unidos da América com 3 estudos em cada, sendo esses realizados nas regiões italianas de Cremona e Lombardy e nos estados americanos Oklahoma, New Mexico, Tennessee, Texas e Wisconsin. Brasil, juntamente com a Austrália, Canadá e Nova Zelândia, apresentam dois estudos conduzidos em cada nação. Foram observados apenas 1 estudo para cada um dos demais países.

O método de estudo predominante nos documentos selecionados é de natureza quantitativa, sendo a metodologia de análise mais frequente para analisar os dados e atingir os objetivos dos estudos, a regressão logística ou probit. Essa técnica apareceu como metodologia em 42,1% dos estudos.

A maioria dos dados analisados nos estudos consiste em dados primários adquiridos por meio de questionários (*survey*) ou estudos de caso. Dados secundários foram utilizados em apenas um artigo (JELINSKI et al., 2020). Com exceção do artigo de Vrchota; Pech; Svepesova (2022), em que os respondentes eram gestores de empresa, os entrevistados dos outros estudos eram os próprios produtores, sendo incluídos na amostra veterinários e prestadores de serviço nos estudos de Makinde; Islam; Wood (2022) e Gargiulo et al. (2018), respectivamente.

A Tabela 3 mostra os periódicos em que os estudos foram publicados e o respectivo fator de impacto no ano de 2022, avaliado pelo índice *Journal Citation Reports* (JCR) e disponibilizado pela Clarivate. O periódico com maior quantidade de estudos foi o *Computers and Electronics in Agriculture* (15,79% dos estudos).

TABELA 3 - Periódicos em que os estudos foram publicados.

Periódico	Publicações	JCR
Computers and Electronics in Agriculture	3	8.3
Animal	2	3.6
Animal Production Science	2	1.4
Animals	2	3.0
Journal of Dairy Science	2	3.5
Agricultural Systems	1	6.6
Agriculture	1	3.6
Canadian Veterinary Journal	1	1.0
International Journal of Interactive Mobile Technologies	1	-
Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies	1	2.4
Journal of Rural Studies	1	5.1
Precision Agriculture	1	6.2
Smart Agricultural Technology	1	-
Total	19	

Fonte: Autoria própria

A publicação com maior número de citações (119 vezes) é intitulada “*Dairy farmers with larger herd sizes adopt more precision dairy technologies*” (GARGIULO et al., 2018) (Tabela 4). Vale ressaltar que são recentes as publicações no tema do estudo. As primeiras publicações datam de 2015 e os anos de 2020 e 2022 apresentaram o maior número de publicações (4) (Tabela 2).

TABELA 4 - Publicações mais citadas.

Ano	Autores	Título	Citações
2018	GARGIULO et al.	Dairy farmers with larger herd sizes adopt more precision dairy technologies	119
2020	GROHER; HEITKAMPER; UMSTATTER	Digital technology adoption in livestock production with a special focus on ruminant farming	68
2018	STEENEVELD; HOGVEEN	Characterization of Dutch dairy farms using sensor systems for cow management	59
2019	DREWRY; SHUTSKE; TRECHTER	Assessment of digital technology adoption and access barriers among crop, dairy and livestock producers in Wisconsin	55
2020	NEWTON; NETTLE; PRYCE	Farming smarter with big data: Insights from the case of Australia's national dairy herd milk recording scheme	46

Fonte: Autoria própria

### 3.1 Tecnologias digitais adotadas

O Quadro 1 apresenta as tecnologias investigadas nos estudos selecionados pela revisão sistemática de literatura, conforme a classificação proposta por Moreno (2024). O conjunto de tecnologias digitais investigadas difere dependendo do sistema de produção. Em estudos em que a pecuária de corte era o foco principal destacou-se a adoção de tecnologias relacionadas à Aquisição de dados e comunicação tecnológica (por exemplo: identificação animal por radiofrequência, sensores em balanças automáticas para pesagem do animal, uso de imagens por câmeras ou drones para contagem e inventário do rebanho, dentre outros), Ciência de dados e inteligência artificial (por exemplo: uso de Big data para geração de informações para tomada de decisão - Business Intelligence), e Sistemas de informação (por exemplo: softwares ou plataformas digitais em nuvem para gerenciamento operacional e econômico da produção). Na pecuária de corte, a maior adoção concentra-se em software para gerenciar a produção, seguida de identificação animal por radiofrequência. As tecnologias com menores níveis de adoção são câmeras e drones (BOYER et al., 2024). Quanto à Ciência de dados e inteligência artificial, a probabilidade de adotar a tecnologia de big data aumenta em casos em que os produtores haviam implementado anteriormente qualquer tecnologia baseada em sensores por serem complementares (PIÑA et al., 2023). O uso de smartphone foi direcionado para a verificação de previsão meteorológica, seguida de navegação na internet e comunicação com outros produtores (DREWRY; SHUTSKE; TRECHTER, 2019; GABRIEL; GANDORFER, 2023; MARESCOTTI et al., 2021; MENDES et al., 2022; RAJCHAMAHA; MAKARARPONG, 2023).

Os estudos predominantemente em produção pecuária de leite concentraram-se nas tecnologias classificadas nas categorias de Automação, controle e robótica, e Aquisição de dados e comunicação tecnológica. Rue et al. (2020) observaram que há maior investimento em tecnologias de automação do que em tecnologias de captura de dados, sendo que a maioria deste investimento tem sido em salas de ordenha rotativa (tipo carrossel). Independentemente do tamanho do rebanho, os removedores automáticos de ordenha, software de gerenciamento e limpeza/lavagem automática de salas de ordenha foram as três tecnologias de precisão mais adotadas tanto em salas de ordenha do tipo espinha de peixe como rotativa (GARGIULO et al., 2018). As tecnologias de extração e remoção automática da sala de ordenha são apontadas com melhor custo-benefício e objetos de desejo de produtores não adotantes das tecnologias (EDWARDS; DELA RUE; JAGO, 2015). Apesar de criadores de gado leiteiro usarem mais tecnologias que facilitam a automação na ordenha, a adoção de robô na ordenha ou sistemas de ordenha automática ainda é baixa em função do alto valor inicial de investimento (GARGIULO et al., 2018; SILVI et al., 2021; VRCHOTA; PECH; SVEPESOVA, 2022). Na categoria de Aquisição de dados, há predomínio de medidores/sensores de atividade de vacas em lactação e sistemas de medição de produção de leite (ABENI; PETRERA; GALLI, 2019; BIANCHI et al., 2022; GARGIULO et al., 2018; SILVI et al., 2021). Apesar dos estudos empíricos concentrarem-se em uma ou outra tecnologia digital, ressalta-se que as tecnologias são complementares e pode haver propriedades de produção leiteira que adotam as quatro categorias tecnológicas.

QUADRO 1 - Tecnologias adotadas na bovinocultura.

<b>Automação, Controle e Robótica</b>	Sistemas de ordenha automática; Removedores automáticos de ordenha; Desinfecção automática pós-ordenha; Robô de ordenha; Robô de alimentação; Sistema de alimentação automática; Comedouro automático; Empurrador de alimentação automatizado; Robô de remoção de esterco; Lavagem automática de instalação; Limpador robótico; Lavagem automática de cuba; Portões automáticos; Direção com piloto automático.
<b>Aquisição de dados e comunicação tecnológica</b>	Sensores para detecção automática de estro e monitoramento do bem-estar animal; Sensores para monitoramento automático do comportamento alimentar e problemas metabólicos; Sensores para detecção automática de produção de leite, qualidade do leite e mastite; Sensores de comportamento dos animais; Sensores de unidades prediais ou de

	armazenamento de matéria prima para ração; Sensor de medição de pastagens; Tecnologias de identificação e rastreabilidade de animais; Balança automática; Câmeras; Drones.
<b>Ciência de dados e Inteligência artificial</b>	Registro do rebanho com aplicações em <i>Big Data</i> ; <i>Big Data</i> .
<b>Sistemas de Informação</b>	Computador/laptop, smartphone/tablet; Acesso a internet; Mídia social; Software de registro financeiro; Software especializado para manejo de gado/confinamento; Software de formulação de dieta; Acesso a informações de mercado; Sistema de Monitoramento da produção de leite; Sistema de Monitoramento do consumo de ração; Sistema de gestão de saúde; Sistema de gestão da fertilidade do rebanho; Sistemas de posicionamento global (GPS) e Sistemas de informação geográfica (GIS); troca de e-mail com produtores; troca de e-mail com cooperativa; Modelos e aplicativos de previsão (clima, pragas); Plataformas de comunicação e negociação; Grupos digitais de compartilhamento de informações.

Fonte: Autoria própria

### 3.2 Fatores facilitadores na incorporação de tecnologias digitais

A decisão de adoção das tecnologias digitais na bovinocultura ocorre tanto por motivações econômicas dos agentes tomadores de decisão como por exigências governamentais. Por um lado, interesses dos produtores rurais em melhorias no sistema de produção, como a detecção de calores, a gestão do trabalho e a melhoria do bem-estar e da saúde dos animais (BIANCHI et al., 2022), ganhos econômicos maiores (ABENI; PETRERA; GALLI, 2019) e complementaridade entre tecnologias já adotadas (STEENEVELD e HOGEVEEN, 2015) foram observados como motivações para a adoção de tecnologias digitais. Por outro lado, a adoção pode ser induzida por exigências governamentais, a exemplo da obrigatoriedade do uso de dispositivos de identificação animal por radiofrequência na Nova Zelândia (EDWARDS; DELA RUE; JAGO, 2015; MARESCOTTI et al., 2021). Gabriel e Gandorfer (2023) observam ainda que a gratuidade ou o baixo custo de adoção de algumas tecnologias digitais de fácil acesso pode facilitar ou estimular a adoção de tecnologias digitais mais complexas.

Dentre os fatores determinantes da adoção de tecnologias digitais na bovinocultura, a percepção de **usabilidade e utilidade da tecnologia** é relevante para decisão (SILVI et al., 2021). Os autores apontam que a percepção de utilidade da tecnologia é menos evidente para produtores com menos tecnologias por não possuíam familiaridade com tecnologia, necessitando de serviços de terceiros para o uso da tecnologia.

A **escala de produção**, representada na maioria dos estudos pelo tamanho do rebanho, apareceu em 90% dos estudos quantitativos analisados com efeito positivo na adoção das tecnologias digitais (BOYER et al., 2024; EDWARDS; DELA RUE; JAGO, 2015; GABRIEL; GANDORFER, 2023; GARGIULO et al., 2018; GROHER; HEITKAMPER; UMSTATTER, 2020; MARESCOTTI et al., 2021; PIÑA et al., 2023; RUE et al., 2020; SILVI et al., 2021; STEENEVELD; HOGEVEEN, 2015). Produtores rurais maiores manifestam menor aversão à tecnologia (MARESCOTTI et al., 2021) e demonstram maior propensão a adoção das tecnologias digitais (GROHER; HEITKAMPER; UMSTATTER, 2020), a exemplo dos sensores para mensurar a atividade animal (BIANCHI et al., 2022; GARGIULO et al., 2018), a identificação animal por radiofrequência para monitoramento e rastreamento de animais (BOYER et al., 2024) e as ferramentas de armazenamento e tratamento de dados – big data (PIÑA et al., 2023) no contexto da pecuária de corte, os removedores na sala de ordenha e os cochos automáticos para bezerros (GARGIULO et al., 2018) no contexto da pecuária de leite.

A **idade do tomador de decisão** é outro fator relevante na decisão de adoção da tecnologia digital. Gestores mais jovens são mais propensos a adotar tecnologias digitais, ao passo que seus pares mais idosos, classificados como tecnóforos por Marescotti, et al. (2021), exibem uma menor inclinação para a utilização de tecnologias digitais (DREWRY; SHUTSKE;

TRECHTER, 2019; GROHER; HEITKAMPER; UMSTATTER, 2020; MARESCOTTI et al., 2021). A faixa etária mais jovem foi determinante no uso de câmeras, tecnologias de big data, sensores para a vigilância automática do comportamento alimentar e detecção automática de problemas metabólicos na produção de gado de corte, bem como na mensuração automática da produção e qualidade do leite e na detecção de mastite (BIANCHI et al., 2022; BOYER et al., 2024; PIÑA et al., 2023).

Quanto ao **gênero** do tomador de decisão, Drewry; Shutske; Trechter (2019) verificaram maior propensão entre as mulheres para o acesso à internet e o uso agrícola de computadores de mesa e portáteis (laptops e tablets). No entanto, esse resultado não foi corroborado por Jelinski et al. (2020) e de Groher; Heitkamper; Umstatter (2020).

O **grau de escolaridade** do tomador de decisão foi amplamente testado nos estudos investigados (BOYER et al., 2024, DREWRY; SHUTSKE; TRECHTER, 2019, GABRIEL; GANDORFER, 2023, MARESCOTTI et al., 2021, MENDES et al. 2022, PIÑA et al. 2023, RAJCHAMAHA; MAKARARPONG, 2023). No entanto, em apenas 50% dos estudos apresentou efeito positivo e significativo na adoção das tecnologias digitais (DREWRY; SHUTSKE; TRECHTER, 2019; MARESCOTTI et al., 2021; MENDES et al., 2022).

Na pecuária de leite as condições e o tipo das **instalações** da sala de ordenha influenciaram a adoção de tecnologias digitais. Instalações de sala de ordenha mais novas e em sistema rotativa (tipo carrossel) favoreceram a adoção de tecnologias de automação e novas tecnologias (EDWARDS; DELA RUE; JAGO, 2015; GARGIULO et al., 2018; RUE et al., 2020). A automação propiciou ganho de eficiência, quando comparado ao sistema de ordenha em espinha de peixe (RUE et al., 2020).

### 3.3 Fatores que agem como barreiras à adoção de tecnologias digitais

Quanto às **barreiras a adoção** de tecnologias digitais na bovinocultura foram observados obstáculos relacionados aos aspectos econômicos, como o elevado custo inicial do investimento, particularmente para tecnologias que exigem construções/adaptações de espaço e instalações, a relação custo-benefício e a incerteza quanto ao retorno financeiro proveniente do investimento (ABENI; PETRERA; GALLI, 2019; BIANCHI et al., 2022; BOYER et al., 2024; STEENEVELD; HOGVEEN, 2015; MARESCOTTI et al., 2021; MAKINDE; ISLAM; WOOD, 2022). Alguns produtores pressupõe que o lapso de tempo entre a coleta de dados e as informações para tomada de decisão pode comprometer o benefício para a gestão da produção (ABENI; PETRERA; GALLI, 2019; BIANCHI et al., 2022; RUE et al., 2020). Observa-se ainda falta de clareza em como utilizar os dados coletados (BIANCHI et al., 2022, RUE et al. 2020). A ausência de conhecimento associada à complexidade acerca de algumas tecnologias digitais (BOYER et al., 2024; MAKINDE; ISLAM; WOOD, 2022) é outra barreira a adoção apontada na literatura. Boyer et al. (2024) salientam que a observação da tecnologia operando em outra propriedade rural é frequentemente mencionada pelos produtores como relevante antes de decidirem pela adoção.

Ainda, a desconfiança na privacidade dos dados armazenados em nuvem ou mesmo em ambiente local, particularmente percebido por produtores de idade mais avançada quanto às tecnologias big data, tem sido descrito em alguns estudos como obstáculos a adoção (DREWRY; SHUTSKE; TRECHTER, 2019; PIÑA et al., 2023).

A incerteza quanto a efetivação da integração da nova tecnologia com os demais softwares ou plataformas já existentes na propriedade rural (DREWRY; SHUTSKE; TRECHTER, 2019; RAJCHAMAHA; MAKARARPONG, 2023) também pode restringir a adoção.

Por fim, o acesso a internet e a estabilidade da conexão de internet como barreiras a adoção é divergente entre os estudos (BOYER et al., 2024; MARESCOTTI et al., 2021).

Ressalta-se que essas pesquisas foram conduzidas em locais distintos, sendo o primeiro nos Estados Unidos e o segundo na Itália, em regiões montanhosas. Groher; Heitkamper; Umstatter (2020) apontam que regiões montanhosas possuíam um forte efeito negativo sobre a adoção de novas tecnologias quando comparadas a regiões de vale. Portanto, deve-se considerar o contexto regional ao considerar barreiras a adoção de tecnologias que demandam acesso a internet.

#### 4. Conclusão

Este estudo realizou uma Revisão Sistemática de Literatura com o objetivo de responder às seguintes questões: “Quais são as tecnologias digitais adotadas por produtores na bovinocultura?” e “Quais são os determinantes de adoção de tecnologias digitais na bovinocultura?”. O estudo revelou que diferentes tecnologias podem ser adotadas por bovinocultores dependendo do sistema de produção. Produtores de gado de leite tendem a adotar mais tecnologias relacionadas à Automação, Controle e Robótica na sala da ordenha, e tecnologias de aquisição de dados e comunicação tecnológica voltadas para o bem-estar, reprodução e sanidade animal. Os produtores de gado de corte adotam mais tecnologias relacionadas a Aquisição de dados e comunicação tecnológica e de Sistemas de Informação. Em ambos os sistemas de produção a principal motivação é o aumento da produção.

Dentre os fatores que podem influenciar a decisão de adoção das tecnologias digitais na bovinocultura destacam-se algumas características socioeconômicas dos tomadores de decisão como a idade, o grau de escolaridade e o gênero, e algumas características da propriedade e da produção como a escala de produção, as condições das instalações e o tipo de sistema de ordenha.

Quanto às barreiras a adoção tem-se o custo inicial do investimento, a relação custo-benefício, a desconfiança quanto a privacidade dos dados e a ausência de conhecimento associado à complexidade de uso de algumas tecnologias digitais.

#### Agradecimentos

À Scot Consultoria pela provisão dos dados no âmbito do acordo de cooperação técnica entre Embrapa e Scot Consultoria (SAIC 2360022/0019-0). À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (SEG 40.19.03.060.00.02.010). À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (projeto 2023/14466-3 vinculado ao projeto 2022/02967-5).

#### Referências

- ABENI, Fabio; PETRERA, Francesca; GALLI, Andrea. A survey of Italian dairy farmers' propensity for precision livestock farming tools. *Animals*, v. 9, n. 5, p. 202, 2019.
- Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes - ABIEC. *Brasil Beef Report*, 2023. Recuperado em 13 de janeiro de 2024, de <https://www.abiec.com.br/catpub/impressos/BARNES>, Andrew P. et al. Exploring the adoption of precision agricultural technologies: A cross regional study of EU farmers. *Land use policy*, v. 80, p. 163-174, 2019.
- BIANCHI, M. C. et al. Diffusion of precision livestock farming technologies in dairy cattle farms. *animal*, v. 16, n. 11, p. 100650, 2022.
- BOYER, Christopher N. et al. Influence of risk and trust on beef producers' use of precision livestock farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 218, p. 108641, 2024.
- CARRER, Marcelo José; DE SOUZA FILHO, Hildo Meirelles; BATALHA, Mário Otávio. Factors influencing the adoption of Farm Management Information Systems (FMIS) by Brazilian citrus farmers. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 138, p. 11-19, 2017.
- CARRER, Marcelo José et al. Precision agriculture adoption and technical efficiency: An analysis of sugarcane farms in Brazil. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 177, p.

121510, 2022.

DREWRY, Jessica L. et al. Assessment of digital technology adoption and access barriers among crop, dairy and livestock producers in Wisconsin. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 165, p. 104960, 2019.

EDWARDS, J. P.; RUE, BT Dela; JAGO, J. G. Evaluating rates of technology adoption and milking practices on New Zealand dairy farms. *Animal Production Science*, v. 55, n. 6, p. 702-709, 2015.

GABRIEL, Andreas; GANDORFER, Markus. Adoption of digital technologies in agriculture—an inventory in a european small-scale farming region. *Precision Agriculture*, v. 24, n. 1, p. 68-91, 2023.

GARGIULO, Juan I. et al. Dairy farmers with larger herd sizes adopt more precision dairy technologies. *Journal of dairy science*, v. 101, n. 6, p. 5466-5473, 2018.

GEROSKI, Paul A. Models of technology diffusion. *Research policy*, v. 29, n. 4-5, p. 603-625, 2000.

GIUA, Carlo; MATERIA, Valentina Cristiana; CAMANZI, Luca. Smart farming technologies adoption: Which factors play a role in the digital transition?. *Technology in Society*, v. 68, p. 101869, 2022.

GROHER, T.; HEITKÄMPER, K.; UMSTÄTTER, C. Digital technology adoption in livestock production with a special focus on ruminant farming. *Animal*, v. 14, n. 11, p. 2404-2413, 2020. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Pesquisa Pecuária Municipal. 2021. Recuperado em 13 de janeiro de 2024, de <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html>

JELINSKI, Murray D. et al. Factors associated with the adoption of technologies by the Canadian dairy industry. *The Canadian Veterinary Journal*, v. 61, n. 10, p. 1065, 2020.

MAKINDE, Ayoola et al. Investigating perceptions, adoption, and use of digital technologies in the Canadian beef industry. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 198, p. 107095, 2022.

MARESCOTTI, Maria Elena et al. Smart farming in mountain areas: Investigating livestock farmers' technophobia and technophilia and their perception of innovation. *Journal of Rural Studies*, v. 86, p. 463-472, 2021.

MENDES, Juliana de Jesus et al. Adoption and impacts of messaging applications and participation in agricultural information-sharing groups: an empirical analysis with Brazilian farmers. *Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies*, 2023.

MOHER, David et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *International journal of surgery*, v. 8, n. 5, p. 336-341, 2010.

MORENO, José C. et al. A pending task for the digitalisation of agriculture: A general framework for technologies classification in agriculture. *Agricultural Systems*, v. 213, p. 103794, 2024.

MORRONE, Sarah et al. Industry 4.0 and precision livestock farming (PLF): an up to date overview across animal productions. *Sensors*, v. 22, n. 12, p. 4319, 2022.

MOZAMBANI, Carlos Ivan et al. Adoption of precision agriculture technologies by sugarcane farmers in the state of São Paulo, Brazil. *Precision Agriculture*, p. 1-23, 2023.

NEWTON, Joanna E.; NETTLE, Ruth; PRYCE, Jennie E. Farming smarter with big data: Insights from the case of Australia's national dairy herd milk recording scheme. *Agricultural Systems*, v. 181, p. 102811, 2020.

PIÑA, Rolando et al. Big data technology adoption in beef production. *Smart Agricultural Technology*, v. 5, p. 100235, 2023.

R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation

- for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- RAJCHAMAHA, Kittichai; MAKARARPONG, Davids. Dairy Farmers' Intention to Use High-Precision Area-Level Weather Warning Technology in Dairy Farms in Thailand Through an Application on Mobile Phones. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, v. 17, n. 18, 2023.
- RUE, BT Dela et al. New Zealand dairy farmers preference investments in automation technology over decision-support technology. *Animal Production Science*, v. 60, n. 1, p. 133-137, 2019.
- SOUZA FILHO, Hildo Meirelles et al. Condicionantes da adoção de inovações tecnológicas na agricultura. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, v. 28, n. 1, p. 223-255, 2011.
- SILVI, Rebeca et al. Adoption of precision technologies by Brazilian dairy farms: The farmer's perception. *Animals*, v. 11, n. 12, p. 3488, 2021.
- STEENEVELD, W.; HOGVEEN, H. Characterization of Dutch dairy farms using sensor systems for cow management. *Journal of Dairy Science*, v. 98, n. 1, p. 709-717, 2015.
- TEY, Yeong Sheng; BRINDAL, Mark. Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: a review for policy implications. *Precision agriculture*, v. 13, p. 713-730, 2012.
- TEY, Yeong Sheng; BRINDAL, Mark. A meta-analysis of factors driving the adoption of precision agriculture. *Precision Agriculture*, v. 23, n. 2, p. 353-372, 2022.
- VINHOLIS, Marcela de Mello Brandão; CARRER, Marcelo José; SOUZA FILHO, Hildo Meirelles de. Adoption of beef cattle traceability at farm level in São Paulo State, Brazil. *Ciência Rural*, v. 47, p. e20160759, 2017.
- VRCHOTA, Jaroslav; PECH, Martin; ŠVEPEŠOVÁ, Ivona. Precision Agriculture Technologies for Crop and Livestock Production in the Czech Republic. *Agriculture*, v. 12, n. 8, p. 1080, 2022.