Agricultura de precisão: perspectiva histórica e de constante transformação

Precision agriculture: historical perspective and constant transformation

Ricardo Yassushi Inamasu[1], Alberto Carlos de Campos Bernardi[2], Carlos Manoel Pedro Vaz[3], João Leonardo Fernandes Pires[4], Luciano Gebler[5], Lúcio André de Castro Jorge[6], Luís Henrique Bassoi[7]

[1] *Pesquisador, Embrapa Instrumentação, São Carlos (SP), Brasil, ricardo.inamasu@embrapa.br*
[2] *Pesquisador, Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos (SP), Brasil, alberto.bernardi@embrapa.br*
[3] *Pesquisador, Embrapa Instrumentação, São Carlos (SP), Brasil, carlos.vaz@embrapa.br*
[4] *Pesquisador, Embrapa Trigo, Passo Fundo (RS), Brasil, joao.pires@embrapa.br*
[5] *Pesquisador, Embrapa Uva e Vinho, Vacaria (RS), Brasil, luciano.gebler@embrapa.br*
[6] *Pesquisador, Embrapa Instrumentação, São Carlos (SP), Brasil, lucio.jorge@embrapa.br*
[7] *Pesquisador, Embrapa Instrumentação, São Carlos (SP), Brasil, luis.bassoi@embrapa.br*

RESUMO

Embora a agricultura de precisão (AP) tenha raízes em iniciativas de mais de duas décadas, seu marco oficial na Embrapa ocorreu com a publicação do primeiro volume "Agricultura de Precisão: um novo olhar". Essa obra pioneira propôs uma visão abrangente e agronômica da AP, contrastando com a ênfase inicial baseada em máquinas e equipamentos. O presente capítulo aprofunda essa discussão, diferenciando a AP da agricultura digital e destacando o papel crucial da AP nesse cenário em constante evolução. Por meio de uma análise histórica, desde as origens até a indústria 4.0, o capítulo descreve o processo de amadurecimento dos conceitos da AP e sua relevância na transformação digital da sociedade moderna.

Palavras-chave: agricultura de precisão; agricultura digital; agricultura 4.0; agricultura 5.0; agricultura inteligente.

ABSTRACT

Although Precision Agriculture (PA) has roots in initiatives of more than two decades ago, its official milestone came with the publication of the first volume, "Precision Agriculture: a new look". That pioneering work proposed a comprehensive and agronomic vision of PA, contrasting with the initial emphasis on machines and equipment. This chapter deepens such discussion, differentiating AP from Digital Agriculture and highlighting the crucial role of AP in this constantly evolving scenario. Through a historical analysis, from its origins to Industry 4.0, the chapter traces the maturing process of PA concepts and their relevance in the digital transformation of the modern society.

Keywords: precision agriculture; digital agriculture; agriculture 4.0; agriculture 5.0; smart farming.

1 INTRODUÇÃO

A presente obra é o terceiro livro da Rede de Pesquisa em Agricultura de Precisão. Assim como nos demais, a publicação é resultado de um esforço organizado em rede. É próximo a um relatório técnico, mas, para o público em geral, pode ser uma referência de como a Embrapa e um conjunto amplo de parceiros de diferentes setores ligados à AP estão tratando o tema. A temática é abrangente e, desde o primeiro

https://doi.org/10.4322/978-65-86819-38-0.1000003

volume, explicita-se que a AP não é limitada a um tipo de cultura nem a uma região, mas ela é um conceito de gestão do sistema de produção agropecuário que leva em conta a variabilidade espacial e temporal do sistema de produção. Ela trouxe a visão de que é possível otimizar o uso da variação existente mesmo em área de um talhão de pequenas e médias propriedades. Porém, é importante salientar que é necessário que haja variabilidade da produtividade ou na qualidade na área considerada. Não havendo a variabilidade, a agricultura convencional, que trata a área de forma a desconsiderar a dependência espacial, pode ser vantajosa economicamente.

Na área da pecuária é possível aplicar o mesmo conceito aplicado à agricultura. Parte-se da premissa de que há variabilidade entre indivíduos ou subgrupos se feita analogia com as zonas de manejo. Portanto, o desafio é como na agricultura e busca identificar a intensidade da variação e mensurá-la para obter indicativos consistentes de que há potencial de retorno econômico ao tratar essas diferenças de forma adequada. A pecuária também é parte de sistemas integrados (com componentes agrícolas e florestais) onde a variabilidade espacial é fator importante para manejo. Portanto, para além dos indivíduos ou subgrupos, a pecuária de precisão necessita do entendimento de sistemas complexos, que também representam oportunidades de ganhos financeiros e ambientais, se bem explorados.

Tanto na pecuária como na agricultura, havendo retorno econômico em tratar as diferenças, o ganho com o meio ambiente é praticamente automático, pois faz-se um uso mais eficiente dos insumos. Sendo assim, as necessidades das culturas são mais bem atendidas do que na agricultura convencional. Cabe ressaltar que o conceito da AP contempla também a pecuária de precisão, uma vez que o termo *agriculture (*língua inglesa) já inclui a produção de origem animal. É um conceito convergente com a comunidade internacional consolidado pela Sociedade Internacional de Agricultura de Precisão a ISPA[1] (*International Society of Precision Agriculture*), cuja definição foi atualizada em março de 2024:

"Agricultura de precisão é uma estratégia de gestão que reúne, processa e analisa dados temporais, espaciais e individuais de plantas e animais e os combina com outras informações para apoiar as decisões de gestão de acordo com a variabilidade estimada para melhorar a eficiência no uso de recursos, produtividade, qualidade, rentabilidade e sustentabilidade da produção agropecuária".

2 AGRICULTURA DE PRECISÃO: ORIGEM DOS CONCEITOS

Uma questão recorrente dos provedores das tecnologias e dos setores que fornecem máquinas e equipamentos é se a robótica e outras tecnologias são adequadas ou não quando a intensidade da variabilidade é pouco significativa. É importante salientar que o termo "precisão", que é a capacidade de um instrumento de medição apresentar resultados consistentes, ou seja, sempre iguais, quando usados nas mesmas condições, é um termo muito precioso para a engenharia. Ainda nas décadas de 1970 e 1980, a precisão era um fator importante de competitividade das indústrias como, por exemplo, a automobilística. O rápido atendimento às demandas dos consumidores, bem como a eficiência denotada por entregas de componentes precisos, garante a superioridade tecnológica em um mercado competitivo. Os conhecimentos mais avançados foram explorados e integrados incluindo as tecnologias de produção para assegurar a qualidade do produto (Leach; Smith, 2018). As tecnologias nascentes assistidas por computadores, em especial as programáveis, ajudaram a posicionar os produtos e o próprio parque de máquinas industriais nos patamares de destaque. Talvez por esse motivo esses tipos de tecnologias foram muito admirados pelos entusiastas da inovação (Evans, 2012).

[1] Disponível em: https://www.ispag.org/about/definition. Acesso em: 12 jan. 2024.

Na indústria de máquinas agrícolas, por ter uma tolerância maior nas medidas dimensionais, a tecnologia da precisão chegou aos produtos nas décadas de 1980 e 1990. Pode-se dizer, desse modo, que o termo utilizado na agricultura de "precisão" foi trazido da indústria, devido, não apenas pelo encanto, mas pelo conceito de integração dos vários conhecimentos para alcançar uma solução equilibrada convergindo tecnologias de diferentes origens como a óptica, a microeletrônica, entre outras.

Particularmente na agricultura, se a aplicação de insumos à taxa variada possibilitou uma variação, digamos de 30% durante essa operação, se o erro aceitável para esse novo ajuste fosse de 10%, ou seja 10% de 30%, então o erro total não deve ser maior do que 3%, exigindo, assim, maior precisão das máquinas. Apesar de desejável, as máquinas não são entregues pelos fabricantes com a especificação desse tipo de erro. Existem argumentos para que esses erros não estejam explícitos na especificação do catálogo do produto. Uma delas é a qualidade dos insumos, principalmente os sólidos, que depende da uniformidade e da umidade dos grãos, o que interfere nas massas e consequentemente na qualidade de distribuição. Assim, mesmo nos dias de hoje, é fundamental a calibração no campo pelos usuários antecipando o uso.

No passado, muitos argumentavam que antes da agricultura de precisão era necessária a "precisão na agricultura". Apesar de ser uma frase de efeito já de uso rudimentar, continua verdadeira, mesmo em publicações recentes, a precisão das máquinas é lembrada como, por exemplo, por Ferraz (2023), que ocupou a presidência da Associação Brasileira de Agricultura de Precisão e Digital – AsBraAP. A melhoria da agricultura convencional deve preceder o uso dos conceitos da AP. Assim, o destaque ao termo "precisão" mesmo não havendo a variabilidade no campo é muito válido aos fabricantes. Talvez esse seja um ponto importante para observar a divergência nos conceitos básicos da área de conhecimento. Na engenharia de precisão, houve um esforço histórico para reduzir a probabilidade de ocorrência de eventos que poderiam impedir que as peças projetadas não deixassem de cumprir o objetivo como encaixar umas nas outras. Dessa forma, a engenharia de precisão é definida atualmente como uma ciência determinística que tenha a variância do erro reduzida a limites aceitáveis. A margem para que exista uma possibilidade ou probabilidade de um erro na montagem deve ser reduzida a um mínimo a ponto de as variações dimensionais não mais serem considerados erros por estarem dentro do valor tolerável.

O setor industrial, com os conceitos de qualidade e precisão, principalmente o mercado de máquinas e equipamentos, trouxe a inferência de que a agricultura de precisão é a engenharia de precisão aplicada às máquinas e equipamentos agrícolas. Também é fato que o Sistema Global de Navegação por Satélite – GNSS e a engenharia de precisão viabilizaram a agricultura de precisão como nós conhecemos atualmente. Essa discussão está descrita na publicação de 1997 em uma comissão organizada pela academia de ciência dos EUA, National Research Council (National Research Council, 1997), quando publicaram a primeira definição de AP, com a seguinte delimitação (tradução livre):

"A agricultura de precisão é uma estratégia de gestão que utiliza tecnologias de informação para reunir dados de diversas fontes e auxiliar na tomada de decisões relacionadas à produção agrícola" (National Research Council, 1997).

A definição do NRC trazia assim as duas dimensões da AP: a dimensão da gestão do sistema produtivo agropecuário e a dimensão das tecnologias que habilitavam essa gestão. Ou seja, a dimensão do setor industrial e a dimensão agronômica dentro de um sistema de produção agropecuária de forma geral. A gestão da variabilidade espacial e individual de plantas e animais estava apenas implícita na "produção agrícola" e não explicitava como na definição atual da ISPA. Essa versão permite interpretar que ao aplicar tecnologia de informação poderia ser considerado prá-

tica de agricultura de precisão. Ainda antes do primeiro livro da Rede AP, a visão predominante da agricultura de precisão no Brasil era a dimensão das tecnologias habilitadoras da engenharia de precisão. A rede de pesquisa da Embrapa trouxe a dimensão agronômica, como um resultado de organização da instituição na temática, o que permitiu que mais de 20 centros de pesquisa e demais parceiros atuassem nesse tema apoiando os produtores a entenderem a sua própria necessidade.

Diferentemente da área industrial, a agricultura deve conviver com as variações de comportamento do clima e dos seres viventes, justamente por estes não serem controláveis, e aceitar a possibilidade de haver variações no volume da safra. Ou seja, não permite ser determinística. A AP busca, também, reduzir essa variação, separando parâmetros controláveis e não controláveis e seus custos, fazendo o uso de ferramentas como sensoriamento e geoestatística. Os fatores não controláveis, apesar de inevitáveis, seus efeitos podem ser minimizados e devem ser aceitos como parte do ambiente de produção, o que difere da postura da engenharia de precisão. Essa distinção foi posicionada nas duas primeiras obras da Rede AP como "um novo olhar" (Inamasu et al., 2011; Bernardi et al., 2014).

A AP como um novo olhar foi apresentada como "uma postura gerencial que considera a variabilidade espacial para maximizar o retorno econômico e minimizar efeito ao meio ambiente". É importante lembrar que a dimensão agronômica da AP é intuitiva e não é nova. Linsley e Bauer (1929) apresentaram o conceito da variabilidade de acidez do solo e a necessidade diferenciada de corretivo.

Sem essa clareza no conceito, a área da agricultura de precisão não cria desafios para que a ciência, principalmente a agronômica, possa atuar de forma decisiva na evolução e estabelecer critérios agronômicos para o usuário, no caso o produtor rural, contabilizar qual a expectativa de retorno econômico ao adquirir uma máquina de aplicação à taxa variada. O estudo e o entendimento de fatores agronômicos que influem e determinam o ganho ao tratar a variabilidade espacial da propriedade são fundamentais para o incremento da sustentabilidade econômica, social e ambiental da atividade nos sistemas de produção agropecuária por meio de dispositivos tecnológicos. Assim, os conceitos amadureceram, e tecnologias como receptores GNSS e sistemas de informação geográfica (SIG) estão agora presentes em dispositivos móveis. A engenharia de precisão e a integração de diversas tecnologias de áreas distintas, apesar dos grandes desafios, continuam a se destacar como habilitadoras essenciais da agricultura de precisão (AP).

Atuar em uma área com um número elevado de interfaces como a AP implica em conviver com uma diversidade de conceitos. Para os iniciantes, essas diferenças sutis podem causar dificuldades no entendimento, mas sugere-se mergulhar em diferentes conceitos para compor um conceito convergente das tecnologias e aplicá-las de forma que a direção seja decisiva para o avanço da agricultura.

A Embrapa adota a definição de AP da ISPA. No entanto, há uma parcela considerável do mercado formado por agritechs que entendem que os dispositivos habilitadores sendo associados à produção agrícola e pecuária possam igualmente ser chamados de agricultura de precisão. Diante desse uso corrente, publicações como a pesquisa da SAE BRASIL e KPMG (2024) adotam o conceito que foi denominado de "agricultura de precisão estendida", onde as tecnologias habilitadoras ou potencialmente habilitadoras entram no escopo e podem ser posicionadas como "um novo olhar na era digital".

Na área acadêmica, a evolução da AP tem sido produtiva e crescente. A consulta realizada em 11 de abril de 2024, na base Web of Science, *core collection*[2], utilizan-

[2] Disponível em: www.webofscience.ez103.periodicos.capes.gov.br/wos/woscc/basic-search. Acesso em: 24 jan. 2024.

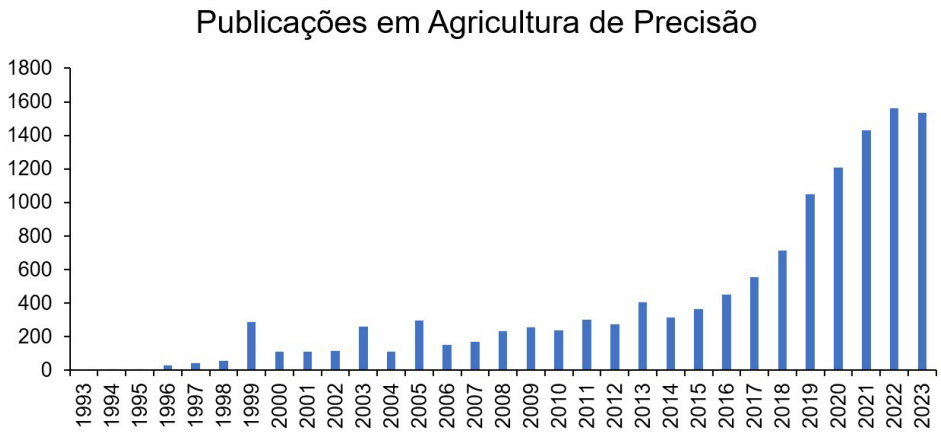


Figura 1. Número de publicações em "Agricultura de Precisão" na base da Web of Science por ano no período de 1993 até 2023.

do-se as palavras chaves "precision agriculture" ou "precision farming", resultou em um total de 12.656 documentos entre 1993 e 2023 (Figura 1).

Do total de publicações recuperadas, 8.151 eram artigos originais em revistas e 3.875 eram artigos em anais, entre outras publicações científicas (Figura 1). As publicações foram encontradas em 150 categorias da Web of Science, ou seja, em um número elevado de áreas de publicação, reforçando a multidisciplinaridade do tema e a importância da integração e a dificuldade na uniformização dos termos e entendimentos. As dez que se destacaram nessas 150 categorias são: Agricultura Multidisciplinar com 2.624 publicações, Agronomia com 1.731, Engenharia Elétrica Eletrônica com 1.709, Sensoriamento Remoto com 1.654, Engenharia Agrícola com 1.501, Ciências Ambientais 1.298, Aplicações Interdisciplinares de Ciência da Computação 1.101, Ciência da Imagem Tecnologia Fotográfica 909, Ciência do Solo 819 e Sistemas de Informação em Ciência da Computação 774.

Ao analisar as ocorrências das palavras-chave dessas publicações (745), utilizando a ferramenta de análise VOSviewer com os dados da Web of Science obtidos em 11 de abril de 2024 e agrupando áreas e suas relações por métodos padrão da ferramenta, foi possível separar cinco grandes grupos ilustrados na Figura 2:

- Sensoriamento remoto com destaque aos índices de vegetação das culturas (em vermelho);
- Gestão da propriedade, produção, adoção e sustentabilidade (em verde);
- Tecnologias de automação, máquinas e sistemas (em azul);
- Variabilidade espacial, geoestatística, solo e fertilidade (em amarelo);
- Tecnologias e metodologias de informação e seu processamento (roxo).

A ferramenta ainda viabiliza a análise de inter-relação e a interdependência dos assuntos. Um mapa com esse número de publicações esconde um número igual de assuntos e abordagens. Aos não acadêmicos, observa-se que o presente livro pode ser visto como uma fração desses trabalhos, onde os capítulos podem referenciar e compilar apenas algumas dessas publicações.

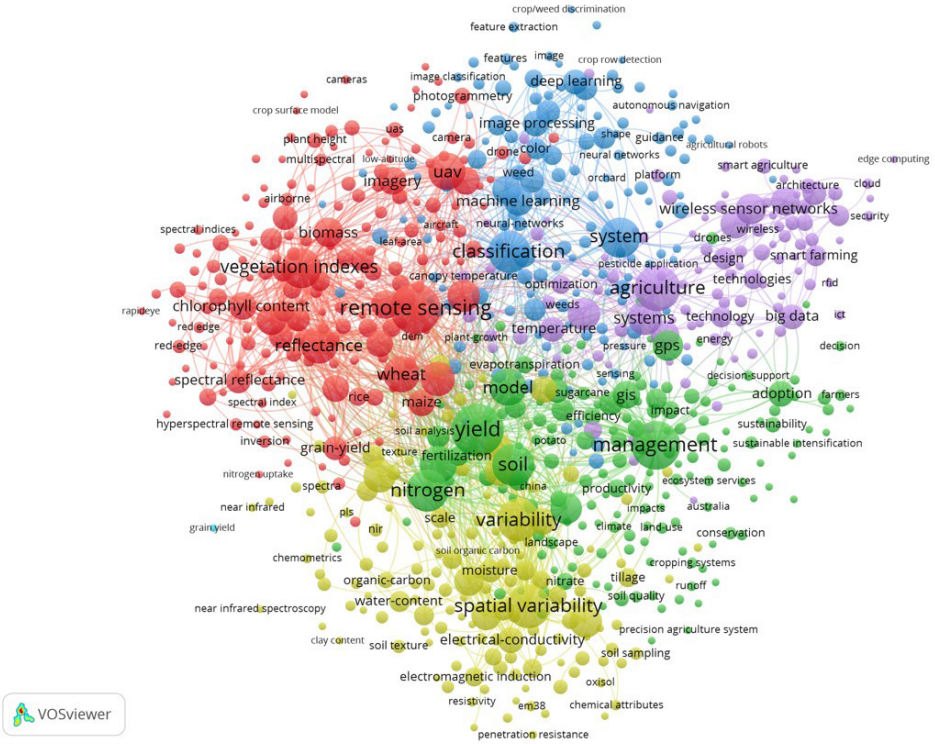


Figura 2. Áreas relacionadas com agricultura de precisão. Figura exportada do VOSViewer, agrupado por método padrão da ferramenta.

3 INDÚSTRIA 4.0: ORIGEM DOS CONCEITOS E INSPIRAÇÃO PARA A AGRICULTURA 4.0

O processo de amadurecimento conceitual que ocorreu no início da agricultura de precisão, quando um número elevado de definições e diferentes interpretações foi apresentado, está ocorrendo agora com a chamada agricultura 4.0. Publicações de várias naturezas abordam a "nova fase" da agricultura, como a agricultura digital, agricultura inteligente (*Smart Agriculture*), agricultura 4.0, agricultura 5.0, entre outras. Dentre essas variadas terminologias é importante concluir esse ciclo da agricultura de precisão para uma nova era digital.

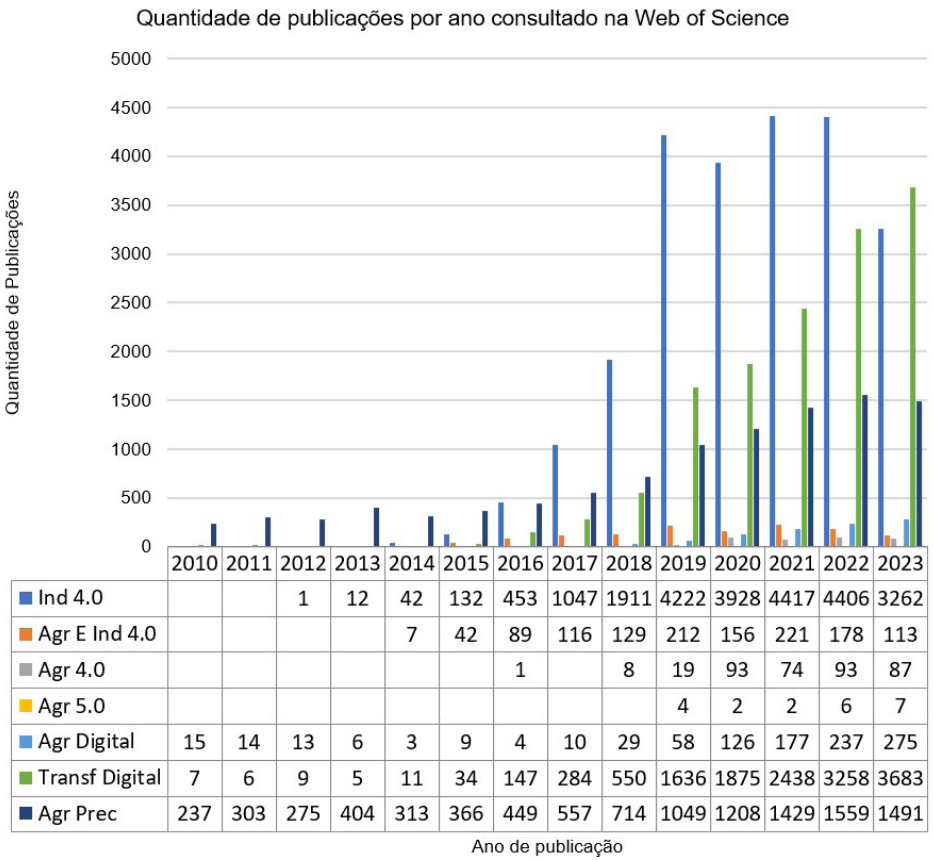
Percebe-se o esforço da comunidade na divulgação da agricultura digital buscando ilustrar o potencial avanço da agricultura em direção a um novo patamar tecnológico. Nesse esforço, surgem contribuições como a agricultura 4.0, agricultura digital (Queiroz et al., 2020; Massruhá et al., 2020), agricultura 5.0 (Leite et al., 2023), agro 4.0 (Dias et al., 2023; Brasil, 2021), *Digital Farming* (Dörr; Nachtmann, 2022), entre outros conceitos. Como foi na agricultura de precisão, há vertentes, dentro de um conjunto de ideias e de produtos tecnológicos originados da academia, mercado, indústria, setores de serviços e consultoria. Nesse ambiente de criação, ainda em processo de convergência, há dois aspectos em comum que podem ser chamados de grandes vertentes. A primeira é a influência da transformação digital que a sociedade como um todo está vivenciando. Essa transformação é uma mudança cultural que promove inovações nos meios de organização da sociedade e nos sistemas de produção. Nessa mudança global, a agricultura não está alheia. A segunda é a vertente impulsionada pela "*Industrie* 4.0" (Kagermann et al., 2013) e a consequente e propalada quarta revolução industrial (Schwab, 2018; Schwab; Davis, 2018). A primeira nós estamos vivenciando. A segunda também, não deixa de ser uma consequência da transformação, mas é um processo com intenção de indicar uma direção nessa transformação.

A indústria 4.0 foi inicialmente um projeto proposto pela academia alemã em 2011. O projeto foi lançado em 2013 e expôs a pretensão de realizar uma transformação da sua indústria na dimensão que alcançasse a próxima revolução industrial (Kagermann et al., 2013). Lasi et al. (2014) expuseram, de forma sucinta e didática, o projeto alemão, motivo pelo qual é um dos mais citado pelos trabalhos que exploram a indústria 4.0. Após o lançamento pela Alemanha, segundo a Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial – Unido (Speringer; Schnelzer, 2019), países reagiram ao projeto e lançaram os seus próprios, como os Estados Unidos – *Industrial Internet of Things* –, em 2011, Japão – *Society 5.0* –, em 2015, China – *Made in China 2025* –, em 2015, entre outros, motivando estudo de casos e explorando a externalidade de cada um desses projetos.

Em 2016, na reunião do Fórum Econômico Mundial em Davos, destacando o potencial de perda de milhões de empregos e de colocar à margem países notadamente menos desenvolvidos industrialmente, foi discutida a importância de haver um propósito e uma direção nessa transformação digital. A essa transformação, Klaus M. Schwab, fundador e presidente executivo do Fórum Econômico Mundial, denominou de "quarta revolução industrial" (Schwab, 2018) por acreditar que a transformação digital da sociedade em curso está no ponto de ruptura para uma nova revolução industrial. Essa discussão alertou os países dependentes tecnológicos que estavam alheios à transformação, por meio de uma divulgação menos especializada e mais adequada aos jornalistas não científicos e aos governantes, facilitando a compreensão da sociedade. De 2016 em diante, houve uma quantidade elevada de eventos que tratavam a temática da quarta revolução industrial. Nesse contexto, ocorre no Brasil o início da elaboração do Plano de Ação para o País em Internet das Coisas[3], por meio do MCTIC e BNDES, cujo resultado destacou três verticais prioritárias, uma delas a vertical rural. É nesse panorama de grande relevância para a indústria e com impacto social e econômico global que surgiram os termos como agro 4.0, visando comunicar a transformação da nossa agricultura em processo de modernização.

Recorrendo novamente à ferramenta de análises bibliométricas *Clarivate*, agora explorando a quarta revolução industrial e ilustrado na Figura 3, observa-se que a produção científica se intensifica após 2016. O rótulo "Ind 4.0" representa a quantidade de produção com busca utilizando a frase lógica "*Industry 4.0"* ou *"Industrie 4.0*". Os termos "Agr e Ind 4.0" contêm o número de documentos do rótulo "Ind 4.0", porém com o termo "*Agriculture"* citado em algum ponto do documento. Esse rótulo indica que, em 2015, 32% dos trabalhos acadêmicos em Indústria 4.0 mencionavam a agricultura. A partir de 2019, a proporção reduziu para 5%, o que pode indicar que os trabalhos na temática tornaram menos abrangentes e a agricultura, consequentemente, em uma área de publicação mais específica. Buscaram-se então os termos "agricultura 4.0" e "agricultura 5.0". Esse rótulo, na Figura 3, indica que a academia internacional não adotou esses termos (4.0 e 5.0) de forma significativa e não se percebe tendência de adoção. Porém, como mostra a Figura 1, houve uma tendência de crescimento em trabalhos na área com a agricultura de precisão e, como comparativo, os mesmos valores foram inseridos na Figura 3 para visualização. Ainda na mesma figura, observa-se que o aumento da frequência do uso do termo "agricultura digital". A ferramenta recuperou o primeiro uso científico desse termo em documento de 2002, antes da efervescência do uso do termo "4.0" utilizado para versionamento da revolução industrial. Porém, observa-se crescimento consistente, principalmente após 2016, como ocorreu com a agricultura de preci-

[3] Disponível em: https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/pesquisaedados/estudos/estudo-internet-das-coisas-iot/estudo-internet-das-coisas-um-plano-de-acao-para-o-brasil. Acesso em: 12 jan. 2024.



	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Ind 4.0			1	12	42	132	453	1047	1911	4222	3928	4417	4406	3262
Agr E Ind 4.0					7	42	89	116	129	212	156	221	178	113
Agr 4.0							1		8	19	93	74	93	87
Agr 5.0										4	2	2	6	7
Agr Digital	15	14	13	6	3	9	4	10	29	58	126	177	237	275
Transf Digital	7	6	9	5	11	34	147	284	550	1636	1875	2438	3258	3683
Agr Prec	237	303	275	404	313	366	449	557	714	1049	1208	1429	1559	1491

Figura 3. Número de publicações sobre indústria 4.0 na base da Web of Science (*core collection*) por ano no período de 2010 até 2023.

são, apesar de um número menor de trabalhos. Ainda na mesma figura foi inserido um termo que apresenta crescimento consistente que é a "transformação digital". É cedo para afirmar, mas é possível que os termos relativos à quarta revolução industrial possam ser ultrapassados e todos eles substituídos pelo termo "transformação digital" por ser esse o que representa o assunto motivador da "quarta revolução industrial".

Ainda sobre a Figura 3, observa-se que são contagens de publicação científica, e a transformação digital que a sociedade está presenciando envolve, além da academia, a sociedade civil, organização internacional, governo e setores privados, o que faz com que os termos ainda sejam utilizados de forma ampla, cada qual com uma interpretação mais adequada à sua visão. Entretanto, em um aspecto são concordantes: todos são influências das ferramentas digitais como avanço da microeletrônica, robótica, rede de computadores, internet, computação em nuvem, internet das coisas (IoT), sistemas ciberfísicos, grandes volumes de dados, big data, aprendizado de máquinas, inteligência artificial (IA), drones, veículos autônomos, impressão em 3D, nanotecnologia, biotecnologia, ciência dos materiais, armazenamento de energia, computação quântica, óptica, fotônica, *blockchain* etc. produzindo inovações no mercado com novos modelos de organização social e de negócios com redes sociais, *marketplace*, plataformas de streaming, plataformas de ensino e informação etc. convergindo para a construção de um futuro que possivelmente possa ser avaliado como a próxima revolução da sociedade, o que inclui a agricul-

tura. Essas tecnologias, assim como foi para a agricultura de precisão, são as que habilitam a convergência para a próxima agricultura.

Desde a edição da obra "Agricultura de Precisão: resultado de um novo olhar", em 2014, surgiram iniciativas e criação de instâncias governamentais para discussão e organização em apoio ao direcionamento da nova era digital para o agro brasileiro (Tabela 1). Em 2019, foi criada a Câmara Interministerial (MCTI e Mapa) do Agro 4.0. Nesse ano, a Embrapa estabeleceu o Portfólio Automação, Agricultura de Precisão e Digital[4], para governança de projetos nesses temas. Também, em 2019, a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão (CBAP) do Mapa incluiu digital na sua temática, sendo atualmente denominada de Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão e Digital (CBAPD)[5]. A Embrapa, em 2021, passou a denominar o "Centro Nacional de Pesquisa Tecnológica em Informática para Agricultura" com o nome síntese de "Embrapa Agricultura Digital"[6]. Em 2022 foi criada a Câmara Temática de Inovação Agrodigital[7] no Mapa. São nessas instâncias que as discussões e proposições de políticas públicas são realizadas, apoiando o aprimoramento das práticas e tecnologias de produção rural e da relação entre o campo e os demais segmentos e instituições da sociedade. No caso da Câmara Agrodigital, é composta por 53 entidades representativas da sociedade, o que faz do fórum uma instância ampla de discussão.

Posto a multiplicidade de abordagens e entendimento de diversos setores, foi solicitado à Gemini, ferramenta da Google AI, e à ChatGPT, da OpenAI, definir a agricultura digital, agricultura 4.0, agricultura 5.0, agricultura inteligente e agricultura de precisão, em 18 de abril de 2024, com a intenção de captar a base de conhecimento existente na internet naquele momento e a maneira como a comunidade, de certa forma, está entendendo cada um desses termos, compilados na Tabela 2.

As ferramentas Gemini da Google AI e ChatGPT da OpenAI trazem, em uma linguagem menos formal e utilizando fontes diversas disponíveis na internet, descrições palatáveis para os termos relacionados com AP. A descrição formal, por sua vez, é precisa e, na compreensão da academia, deve ser estruturada por uma organização representativa discutida por pares. A Tabela 2 traz essa descrição com rigor técnico mais leve ilustrando como a sociedade em geral pode estar entendendo.

Tabela 1. Iniciativas governamentais para discussão e organização da nova era digital para o agro brasileiro.

Iniciativa	Instância governamental	Ano de criação
MCTI e Mapa	Câmara Interministerial do Agro 4.0	2019
Embrapa	Portfólio Automação, Agricultura de Precisão e Digital	2019
Mapa	Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão (CBAP)	2019
Embrapa	Embrapa Agricultura Digital	2021
Mapa	Câmara Temática de Inovação Agrodigital	2022

Os termos como agricultura 4.0 e agricultura 5.0 trazem referência às tecnologias exploradas pelo projeto indústria 4.0 ou pelas tecnologias que são consideradas

[4] Disponível em: https://www.embrapa.br/pesquisa-e-desenvolvimento/portfolios. Acesso em: 12 jan. 2024.

[5] Disponível em: https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/pesquisaedados/estudos/estudo-internet-das-coisas-iot/estudo-internet-das-coisas-um-plano-de-acao-para-o-brasil. Acesso em: 12 jan. 2024.

[6] Disponível em: https://www.embrapa.br/en/agricultura-digital. Acesso em: 12 jan. 2024.

[7] Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/camaras-tematicas-1/inovacao-agrodigital. Acesso em: 12 jan. 2024.

responsáveis pela quarta revolução industrial com inferência de que também será responsável pela revolução da agricultura no próximo nível tecnológico. O 5.0, termo que infere o versionamento para um nível mais avançado do que o 4.0, surge no projeto "*Society 5.0*", em 2014, contrapondo a "*Industrie 4.0*", salientando que o projeto da Alemanha tem foco apenas na indústria, mas que seria importante ter uma visão mais ampla e que alcance uma transformação da sociedade como um todo, ou seja, na educação, sistema de saúde e em todos os setores incluindo a agricultura. Essa visão alimentou o conceito da quarta revolução industrial do Fórum Econômico Mundial. Ambas as ferramentas colocam como "evolução" do 4.0, mas, apesar de não se saber como será a quarta revolução industrial e ter-se apenas planos ou projeções, é possível entender que autores que utilizam esses termos pretendem apresentar uma visão transformadora diferenciada contrapondo ao que estava sendo descrito como uma próxima revolução industrial. O termo "*smart*" ou "inteligente" foi utilizado em dispositivos que passaram a executar uma automação mais sofisticada por meio de software, como foi o caso de elevadores inteligentes. Atualmente, as escalas aumentaram, e tecnologias como IA e IoT estão sendo utilizadas para o que tem sido entendido como prédios e cidades inteligentes. Na agricultura, a academia já vinha utilizando o termo "*smart*" ao associar aos processos que estão relacionados ao ambiente e foram aplicados em uma agricultura ambientalmente inteligente, mas, como presente na Tabela 2, as ferramentas de IA trazem o entendimento de que seria uma agricultura realizada com aplicação da IA. Para Gemini, a agricultura digital poderia ser entendida como a agricultura 4.0, e para ChatGPT o uso das tecnologias digitais. Se considerado que a quarta revolução industrial é o reflexo da transformação digital que a sociedade está passando, e que a agricultura não passará ilesa a essa transformação, a agricultura digital talvez seja a descrição ou o termo mais adequado para refletir o momento da efervescência tecnológica de grandes transformações inclusive culturais da atualidade. A indústria 4.0, como um projeto, possui alguns objetivos claros como a de implementar a integração vertical e horizontal das indústrias alemãs e parceiras; potencializar o nível elevado de conhecimento da população mesmo a de idade mais avançada; acelerar a economia circular tornando a indústria menos dependente da obsolescência, entre outros propósitos. A agricultura, por sua vez, parece possuir uma quantidade de iniciativas que são significativas, porém é desejável uma integração delas, e esta parece que vai ser alcançada com o aumento da maturidade das tecnologias e das instituições.

A agricultura brasileira tem os seus próprios desafios: resolver a insegurança jurídica das propriedades rurais, mitigar efeitos do clima e seus eventos inesperados, encurtar as cadeias aproximando os produtores dos consumidores, eliminar o uso de práticas insustentáveis com transparência, aproveitar a biodiversidade em bioinsumos e bioprocessos, fortalecer a inclusão socioprodutiva, posicionar a agricultura no seu papel justo da transformação da segurança alimentar e energética com lisura e responsabilidade. Se o Brasil aspira protagonismo pelas práticas agrícolas sustentáveis, e seus produtos posicionados como de primeira qualidade, não basta apenas praticar o sistema de plantio direto, a integração lavoura-pecuária, a proteção das suas reservas e biomas, é preciso acelerar o uso de bioinsumos, recuperar áreas degradadas, gerar certificados e relatórios ESG, entre outras iniciativas. O mundo hoje teme eventos climáticos extremos, perda da biodiversidade, colapso de ecossistemas, entre outros e, mais recentemente (de forma mais urgente), a desinformação (World Economic Forum, 2024), muito aceleradas pelas ferramentas digitais. Assim, a agricultura brasileira, além de praticar e desenvolver tecnologias sustentáveis, deve ser transparente e capaz de provar em tempo real que essas práticas estão sendo realmente aplicadas. Esses desafios só podem ser alcançados com base nos dados de qualidade e com apoio das novas tecnologias.

Tabela 2. Definições segundo Gemini da Google AI e ChatGPT da OpenAI.

Gemini da Google AI	ChatGPT da OpenAI
Agricultura digital	
A agricultura digital, também conhecida como agricultura 4.0, marca a inserção de ferramentas digitais no campo. Sensores, GPS, internet das coisas (IoT) e big data se unem para coletar e analisar dados da lavoura, permitindo uma gestão mais precisa e eficiente. Imagine um monitoramento constante da saúde das plantas, do solo e do clima, tudo a um clique de distância!	Refere-se ao **uso de tecnologias digitais**, como sensores, dispositivos móveis, internet das coisas (IoT), análise de dados e outras ferramentas digitais para otimizar e melhorar as práticas agrícolas. Isso pode incluir o monitoramento remoto de cultivos, gestão de irrigação baseada em dados, aplicativos móveis para gerenciamento de fazendas, entre outras soluções digitais.
Agricultura 4.0	
A agricultura 4.0 se aprofunda na convergência de tecnologias inovadoras, como: **• Inteligência artificial (IA): algoritmos inteligentes para analisar dados e tomar decisões automatizadas, otimizando tarefas como irrigação, adubação e controle de pragas;** **• Robótica: máquinas autônomas para auxiliar em atividades repetitivas e perigosas, como colheita e pulverização, liberando mão de obra para tarefas mais estratégicas;** **• Drones: olhos no céu para monitorar a lavoura em tempo real, detectando áreas com problemas e mapeando a produtividade.**	Esse termo é uma **extensão da Revolução Industrial 4.0** aplicada à agricultura. Envolve a integração de tecnologias avançadas, como inteligência artificial (IA), big data, automação, robótica, drones e nanotecnologia, para aumentar a eficiência, produtividade e sustentabilidade da agricultura. A agricultura 4.0 visa criar sistemas agrícolas mais inteligentes, conectados e autônomos.
Agricultura 5.0	
A agricultura 5.0, ainda em seus primórdios, eleva a agricultura 4.0 a um novo patamar, integrando a produção com: **• Biotecnologia: avanços na manipulação genética para desenvolver culturas mais resistentes a pragas, doenças e condições climáticas adversas, otimizando a produtividade e reduzindo o uso de insumos;** **• Economia circular: minimização do desperdício e reutilização de recursos na produção, como água e energia, promovendo um ciclo agrícola mais sustentável;** **• Agricultura regenerativa: práticas que visam restaurar a saúde do solo e aumentar a biodiversidade, garantindo a produtividade a longo prazo e a preservação do meio ambiente.**	Esse conceito ainda está em desenvolvimento e é uma evolução da agricultura 4.0. Enquanto a agricultura 4.0 se concentra principalmente na automação e digitalização, a agricultura 5.0 busca integrar de forma mais holística os **aspectos humanos e sociais** com as tecnologias digitais avançadas. Isso inclui maior ênfase na sustentabilidade, responsabilidade social, colaboração entre agricultores e comunidades locais, e uma abordagem mais centrada no ser humano para o desenvolvimento agrícola.
Agricultura inteligente	
A agricultura inteligente, também conhecida como *Smart Farming*, é a união da agricultura digital com a inteligência artificial, criando um sistema completo de gestão agrícola. Através da análise de dados em tempo real, essa abordagem permite: **• Tomada de decisões mais precisas e ágeis: ajustes na irrigação, adubação e controle de pragas são feitos de forma personalizada para cada área da lavoura, otimizando o uso de recursos e aumentando a produtividade;** **• Redução do impacto ambiental: a aplicação direcionada de insumos diminui o desperdício e o impacto ambiental da produção, promovendo a sustentabilidade;** **• Aumento da rentabilidade: a otimização da produção e a redução de custos garantem maior lucratividade para o agricultor.**	Refere-se ao **uso de tecnologias avançadas**, como IA, big data, sensores e automação, para tomar decisões mais inteligentes e eficientes na gestão agrícola. Isso inclui a análise de grandes volumes de dados para prever padrões climáticos, identificar pragas e doenças, otimizar o uso de insumos agrícolas e melhorar o manejo dos cultivos de forma geral.
Agricultura de precisão	
A agricultura de precisão se concentra no manejo da variabilidade espacial do solo, clima e produtividade dentro da propriedade. Através de ferramentas como GPS, sensores e mapeamento georreferenciado, o agricultor obtém informações detalhadas sobre cada área da lavoura, permitindo: **• Aplicação variável de insumos: a quantidade de adubo, água e defensivos agrícolas é ajustada de acordo com as necessidades específicas de cada área, otimizando o uso de recursos e reduzindo custos;** **• Monitoramento da saúde da lavoura: identificação precoce de problemas como pragas, doenças e deficiências nutricionais, possibilitando ações imediatas e direcionadas, minimizando perdas na produção;** **• Aumento da produtividade: o manejo preciso garante que cada planta receba o que precisa para se desenvolver da melhor forma, resultando em maior produtividade e qualidade da colheita.**	É uma abordagem que utiliza tecnologias de monitoramento e análise de dados para personalizar e otimizar as práticas agrícolas em pequenas áreas específicas dentro de um campo. Isso inclui o mapeamento detalhado das características do solo, monitoramento do crescimento das plantas, aplicação precisa de insumos agrícolas (como fertilizantes e pesticidas) e outras práticas que visam maximizar a produtividade e reduzir o desperdício. A agricultura de precisão permite uma gestão mais eficiente dos recursos e uma produção mais sustentável.

A AP, além de atuar na gestão da variabilidade temporal e espacial, acelerou o uso das ferramentas como GNSS, SIG, sensoriamento remoto e máquinas agrícolas programáveis, pelos campos da produção rural. Esses elementos presentes no campo viabilizam a construção de sistemas ciberfísicos, o que provavelmente ajudou a acelerar também a produção de trabalhos acadêmicos, notadamente após 2016, que aprimoraram e aprofundaram a temática da agricultura de precisão. Assim sendo, é possível afirmar que a agricultura de precisão é uma temática que não apenas precede a agricultura digital, mas uma das componentes habilitadoras dessa nova fase que a agricultura está construindo.

4 AGRICULTURA DE PRECISÃO: DESAFIOS SOB DIFERENTES ÓTICAS, DESDE A PESQUISA ATÉ OS PRODUTORES

O ciclo da agricultura de precisão, que pode ser considerado tradicional em sistemas de controle, consiste em três etapas: leitura, análise e atuação. A leitura é o que viabiliza a obtenção de dados temporais, espaciais e individuais de solo, ambiente, plantas e animais. Cada um dos dados para o uso em análise da gestão do sistema de produção rural deve estar associado ao local com as suas coordenadas geográficas e a data e horário em que foi obtido o valor. A análise, por sua vez, utiliza, além dos dados do sistema de produção, outras informações de forma combinada, como, por exemplo, informações de mercado, para apoiar uma decisão espacialmente variada e sustentável. Tendo uma recomendação técnica, a operação é programada para que a atuação no campo seja realizada, quer seja para aplicar um insumo ou executar uma ação nos locais conforme indicado.

Desde o início da agricultura de precisão houve uma produção significativa de conhecimentos e de aprendizados, mas há, ainda, muitos desafios formidáveis a serem vencidos. A gestão da variabilidade trouxe a oportunidade e o desafio de identificar a variabilidade espacial, suas causas e criar as recomendações técnicas de acordo com a aptidão local para uma cultura ou mais culturas. Refinar as recomendações técnicas inicialmente criadas regionalmente trouxe enorme oportunidade para renovar agendas de pesquisas no âmbito agronômico. Na formação de novos profissionais para atuar no sistema de produção agrícola, a base conceitual de geoestatística e SIG tem se fortalecido, além das demais disciplinas que rementem à integração de tecnologias multidisciplinares.

Cherubin et al. (2022) levantaram a trajetória de 25 anos da pesquisa científica brasileira e apontaram áreas-chave que permanecem inexploradas e que, segundo os autores, devem ser incentivadas em pesquisas futuras: (a.i) o desenvolvimento de ferramentas de tomadas de decisão baseadas em digital, que são fundamentadas pela construção sistematizada de grandes bancos de dados contendo informações espaciais e temporais de alta qualidade, usando múltiplas ferramentas de monitoramento (por exemplo, sensoriamento de solo/plantas e previsão do tempo), informações de gerenciamento e histórico do campo e respostas de rendimento à aplicação de insumos por meio de experimentação de precisão na fazenda (*on-farm*); (a.ii) ampliação da experimentação de precisão na fazenda usando protocolos bem estabelecidos dentro de uma rede abrangente de pesquisa; (a.iii) integração entre abordagens de aprendizado de máquina inovadoras e grandes bancos de dados para promover a implementação de sistemas de suporte à decisão baseados em digital; e (a.iv) aplicações de agricultura de precisão para questões ambientais (por exemplo, sequestro de carbono e redução do uso de agroquímicos). Essas áreas apontam para novas perspectivas de avanço da ciência na agricultura.

Sob o aspecto da política, a Lei nº 14.475, de 13 de dezembro de 2022, instituiu a Política Nacional de Incentivo à Agricultura e Pecuária de Precisão, com o objetivo de ampliar a utilização de técnicas de produção agropecuária no Brasil. Essa lei, de

2014, foi um passo importante da Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão na Agenda Estratégica 2014-2025[8].

Do ponto de vista da "percepção" da mídia digital, em relação aos principais desafios da agricultura de precisão, o ChatGPT (consulta realizada em 27 de abril de 2024) aponta os seguintes tópicos: (b.i) custo inicial elevado; (b.ii) acesso à tecnologia; (b.iii) capacitação e educação; (b.iv) adaptação a diferentes realidades regionais; (b.v) integração de dados; (b.vi) manutenção e suporte técnico; (b.vii) aspectos regulatórios e de privacidade. Por meio do Gemini (consulta em 27 de abril de 2024): (c.i) alto custo de implementação; (c.ii) falta de mão de obra qualificada; (c.iii) dificuldade de acesso à internet; (c.iv) incompatibilidade entre equipamentos; (c.v) desconhecimento dos benefícios; (c.vi) complexidade da análise de dados; (c.vii) questões de segurança da informação; (c.viii) adaptação às características regionais; (c.ix) integração com outras práticas agrícolas; (c.x) mudanças na cultura organizacional. Esses tópicos indicam o desafio e a dificuldade dos produtores rurais em adotar a agricultura de precisão. Isso indica que as ferramentas tecnológicas (algumas) não são ainda simples o suficiente para serem adotadas.

Atualmente, há informações, imagens de satélite, diversos aplicativos e softwares que podem ser utilizados para a agricultura de precisão, que estão disponíveis no mercado, alguns até de forma gratuita. Componentes que eram considerados caros como, *chip*s receptores GNSS e demais eletrônicos, estão disponíveis com custo compatível para ser embarcado em dispositivos pessoais. Porém, muitos dos sistemas dedicados à agricultura ainda não estão integrados e seus custo ainda são elevados. A maioria das máquinas, equipamentos, softwares e aplicativos utilizados na agricultura de precisão é de uma geração que exige habilidades em lidar com diferentes padrões, diversos recursos e comandos proprietários. Nesse nível tecnológico, é requerido que o operador seja treinado cada um com um sistema distinto. Apesar de gratuito, o QGIS, que é um projeto de SIG oficial da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo) e de uso gratuito, exige domínio e formação especializada com horas de treinamento, o que pode impactar em custos, principalmente aos pequenos e médios produtores. Os usuários, produtores rurais devem elaborar um plano de investimento. Devem estudar se a sua lavoura ou plantel possui variabilidade suficiente para projetar expectativa de retorno econômico. Se não houver variabilidade suficiente, o retorno não será adequado para um sistema de aplicação à taxa variada, por exemplo. Para realizar esse estudo, o produtor rural deve contar com treinamento. Nesse ponto, faz sentido indicar que o (b.i) custo inicial elevado e o (c.i) alto custo de implementação podem ser desafiadores para o produtor e indiretamente para revenda, por não ter parâmetros de retorno econômico antes da aquisição. Não tendo esses parâmetros, os equipamentos, sem dúvida, são de custo elevado.

A ausência de conhecimento básico torna a adoção muito mais desafiadora. Nesse sentido, o (b.ii) acesso à tecnologia, (b.iii) capacitação e educação, (b.iv) adaptação a diferentes realidades regionais, (b.v) integração de dados, (b.vi) manutenção e suporte técnico, (c.ii) falta de mão de obra qualificada, (c.v) desconhecimento dos benefícios, (c.vi) complexidade da análise de dados e (c.x) mudanças na cultura organizacional são itens críticos e diretamente ligados ao nível de preparo técnico da equipe para a implementação adequada da AP.

Particularmente, aos produtores de pequeno e médio porte, devido em boa parte ao nível tecnológico atual empregado, as máquinas, equipamentos e softwares são um dos maiores desafios, pois muitos não têm condição de contar com uma

[8] Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/tecnologia-agropecuaria/agricultura-de-precisao-1/arquivos-de-agricultura-de-precisao/agenda-estrategica-do-setor-de-agricultura-de-precisao.pdf/view. Acesso em: 24 jan. 2024.

equipe de apoio em TI. Talvez, no futuro, seja possível desenvolver equipamentos considerados colaborativos, que sejam capazes de conversar por IA e realizar operações e análises importantes para a AP.

Porém, antes da presença da IA, em apoio às operações de AP, desafios anteriores, como integração de dados, aspectos regulatórios e de privacidade, dificuldade de acesso à internet, incompatibilidade entre equipamentos e questões de segurança da informação, deverão ser superados.

5 A AGRICULTURA DE PRECISÃO NA ERA DIGITAL

Ao longo deste capítulo, foram apresentados o contexto da era digital e seus potenciais para acomodar este terceiro livro nesse ecossistema. A transformação da sociedade traz perspectivas de mudança cultural e invenções de modelos de negócio que mudam a relação da economia tradicional. Modelos de cadeias que fizeram da nossa agricultura um sucesso podem ou devem ser alterados em alguns aspectos essenciais que impedem avanços. Se um dos maiores motivos de sucesso da nossa agricultura é a disponibilidade e a redução do custo de alimentos, esse mesmo sucesso trouxe, também, pressão aos produtores. As agritechs que atuam com os pequenos e médios produtores trazem a possibilidade de apoiar a agregação de valor, encurtando cadeias e inserindo valor das informações aos produtos. Para isso, dados são essenciais. A agricultura de precisão, ao gerar dados, pode apoiar a construção de informações necessárias para uma agricultura sustentável e transparente, sintonizada com a demanda do consumidor. A agricultura de precisão é assim uma habilitadora para a próxima agricultura.

O próximo e, provavelmente, o maior desafio da sociedade em relação à temática é ampliar a adoção da AP para que o campo, além de produzir dados para alimentar processo de gestão da produção eficiente, proveja dados para que as cadeias de valores possam ser abastecidas de informações de boa qualidade.

No primeiro momento, a ampliação da adoção remete aos processos de disseminação e treinamento. Grupos de estudos que têm atuado em Comissões ordinárias como a CBAPD indicam a existência de um número ainda muito reduzido e insuficientes de disciplinas dentro de cursos tradicionais como Agronomia, Engenharia Agronômica, Engenharia Agrícola, Zootecnia, entre outros, para que ocorra a disseminação e o uso da agricultura de precisão de forma suficiente para gerar uma transformação segura e virtuosa. Estrutura de cursos e ementas deve ainda ser construída em abrangência nacional e, para que ocorra de forma eficaz, a academia deve ainda contar com esforço multisetorial, com contribuições principalmente das agritechs e seu ecossistema.

No passado não muito remoto, foi possível acompanhar o desenvolvimento de equipamentos e sistemas com interfaces complexas possíveis de serem acessados apenas por letrados digitais. Atualmente, essas interfaces, como as de automação e controles residencial, estão possíveis de serem ativados por comando de voz com interpretação inteligente. Não são apenas interfaces, mas existem ajustes, calibrações e processos que se a propriedade rural não tiver uma equipe muito bem sintonizada, a retirada de dados das máquinas e o seu uso tornam-se desafiadores a ponto de muitos agricultores abandonarem os processos. Desse modo, os equipamentos e sistemas agrícolas que apoiam a agricultura de precisão deverão necessariamente amadurecer para alcançar produtores rurais e operadores por meio de uma linguagem mais adequada às suas experiências. Outra frente importante é a viabilização de acesso a dados, e isso passa também pela padronização, segurança e acessibilidade dos dados. Essa melhoria tecnológica pode reduzir a necessidade de treinamentos formais de alto custo e possibilitar uma disponibilidade maior de operadores capacitados e viabilizá-los a realizar uma agricultura sustentável apoiada em dados.

Posto isso, para ampliar a adoção, há necessidade de métodos de análise, que ainda são objetos de estudos e de desenvolvimento. Técnicas de experimentação *on-farm* vêm possibilitando viabilizar a obtenção de informações específicas dos talhões, com uso de equipamentos já utilizados pela AP nas propriedades rurais, além de indicadores que possibilitam o manejo específico e maior sustentabilidade das propriedades rurais. Nesse novo passo da agricultura de precisão, há um avanço consistente na pecuária. Os meios que têm sido utilizados para identificar bovinos são brincos e RFID (*Radio Frequency Identification*). Avanços em uma eletrônica mais elaborada para reconhecimento da localização e movimento em colares ou implantes estão avançando. Mais recentemente, o uso de câmeras tem aumentado para analisar movimentos e por meio delas obter informações da saúde do animal para apoiar na gestão do manejo. Sistema de ordenha robotizada utiliza esses sistemas de reconhecimento baseado em imagens. Há esforços para uso de imagens para reconhecimento do animal, assim como acontece com o processo de biometria em humanos. Essas ferramentas para a pecuária são fundamentais para a sua digitalização, de forma semelhante ao que os receptores GNSS entregaram para a lavoura. Talvez essa seja a tecnologia que falta à pecuária para abrir oportunidade ao setor embarcar definitivamente na "pecuária de precisão".

Assim, abrem-se novas oportunidades à agricultura de precisão nessa nova organização da sociedade que está por vir. No momento, a agricultura de precisão pode ser considerada, não como uma fase precedente da agricultura digital, mas como sua habilitadora.

REFERÊNCIAS

BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V., BASSOI, L. H., INAMASU, R. Y. **Agricultura de Precisão:** resultados de um Novo Olhar. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 596 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e de Abastecimento. Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Sustentável e Irrigação. **Potencialidades e Desafios do agro 4.0 (MAPA/MCTI)**: gt iii "cadeias produtivas e desenvolvimento de fornecedores" câmara do agro 4.0. Brasília, DF, 2021. 66 p.

CHERUBIN, M. R.; DAMIAN, J. M.; TAVARES, T. R.; TREVISAN, R. G.; COLAÇO, A. F.; EITELWEIN, M. T.; MARTELLO, M.; INAMASU, R. Y.; PIAS, O. H. D. C.; MOLIN, J. P. Precision Agriculture in Brazil: the trajectory of 25 years of scientific research. **Agriculture**, v 12., n. 11, p. 1882, 2022. DOI: http://doi.org/10.3390/agriculture12111882.

DIAS, E. M.; DOURADO NETO, D.; SCOTON, M. L. R. P. D; OLIVEIRA, D. H. S.; SANTOS, I. M. G. L.; MENEZES, J. H. V. **Agro 4.0**: fundamentos, realidades e perspectivas para o Brasil. Rio de Janeiro: Autografia, 2023. 306 p.

DÖRR, J.; NACHTMANN, M. **Handbook Digital Farming**: digital transformation for sustainable agriculture. Berlin: Springer, 2022. 833 p.

EVANS, C. J. Precision engineering: an evolutionary perspective. **Philosophical Transactions of the Royal Society A:** Mathematical, Physical and Engineering Sciences, v. 370, p. 3835-3851, 2012. DOI: http://doi.org/10.1098/rsta.2011.0050.

FERRAZ, M. N. Agricultura de precisão e agricultura digital na prática: os benefícios das tecnologias digitais para o agronegócio. In: DIAS, E. M.; DOURADO NETO, D.; SCOTON, M. L. R. P. D; OLIVEIRA, D. H. S.; SANTOS, I. M. G. L.; MENEZES, J. H. V. (eds.). **Agro 4.0**: fundamentos, realidades e perspectivas para o Brasil. Rio de Janeiro: Autografia, 2023. 306 p.

INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. **Agricultura de Precisão:** um novo olhar. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. 334 p.

KAGERMANN, H.; HELBIG, J.; WAHLSTER, W. **Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0:** Securing the Future of German Manufacturing Industry; Final Report of the Industrie 4.0 Working Group. 2013. Disponível em: https://www.acatech.de/publikation/umsetzungsempfehlungen-fuer-das-zukunfts-

projekt-industrie-4-0-abschlussbericht-des-arbeitskreises-industrie-4-0/download--pdf?lang=wildcard. Acesso em: 12 jan. 2024.

LASI, H.; FETTKE, P.; KEMPER, H. G.; FELD, T.; HOFFMANN, M. Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering**, v. 6, n. 4, p. 239-242, 2014. DOI: http://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4.

LEACH, R.; SMITH, S. T. **Basics of precision engineering**. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, 2018. 659 p.

LEITE, R. A.; BORÉM, A.; BORGES JÚNIOR, A. **Agricultura 5.0**. Arinos, MG: Produção Independente, 2023. 306 p.

LINSLEY, C. M.; BAUER, F. C. **Test your soil for acidity.** Illinois: College of Agriculture and Agricultural Experiment Station, Univesity of Illinois, 1929. 16 p. (Circular n. 346).

MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A.; OLIVEIRA, S. R. de M.; MEIRA, C. A. A.; LUCHIARI JUNIOR, A. ; BOLFE, É. L. (ed.). **Agricultura Digital**: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas. Brasília, DF: Embrapa, 2020. 406 p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Precision Agriculture in the 21st Century**: geospatial and information technologies in crop management. Washington, DC: The National Academies Press, 1997. 168 p.

QUEIROZ, D. M.; VALENTE, D. S. M.; PINTO, F. de A. C.; BORÉM, A. **Agricultura Digital**. Viçosa: Produção Independente, 2020. 350 p.

SAE BRASIL-KPMG, Pesquisa SAE BRASIL, **Caminhos da Tecnologia no Agronegócio: Oportunidades, desafios e perspectivas,** 2024, 1a Edição. Disponível em: https://pages.saebrasil.org.br/relatorio-pesquisa-caminhos-da-tecnologia-no-agronegocio. Acesso em: 20 fev. 2023.

SCHWAB, K. **A quarta revolução industrial**. São Paulo: Edipro, 2018. 160 p.

SCHWAB, K.; DAVIS, N. **Aplicando a quarta revolução industrial**. São Paulo: Edipro, 2018. 352 p.

SPERINGER, M.; SCHNELZER, J. **Differentiation of Industry 4.0 Models**: the 4th industrial revolution from different regional perspectives in the global north and global south. Vienna: Regional Academy on the United Nations, 2019. Disponível em: http://www.ra-un.org/publications. DOI: https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35510.55363.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Global Risks Report 2024**. 2024. Disponível em: https://www.weforum.org/publications/global-risks-report-2024/. Acesso em: 20 fev. 2023.