

Revolução digital no setor agropecuário e transformação da dinâmica inovativa: novos atores e relacionamentos*

Martha Delphino Bambini¹

Maria Beatriz Machado Bonacelli²

RESUMO

A adoção de tecnologias inovadoras vem, historicamente, oferecendo oportunidades para o aumento da produtividade, a redução no uso de insumos e a promoção da sustentabilidade no setor agropecuário. A temática investigada neste artigo é a chamada Agricultura 4.0, entendida como o desenvolvimento e aplicação de tecnologias digitais aos vários elos das cadeias produtivas da agropecuária. O objetivo desta pesquisa é analisar como esse movimento transforma a dinâmica inovativa da agropecuária, mapeando os atores interessados e os relacionamentos estabelecidos para a inovação. Considerando a emergência da temática, optou-se por estudo exploratório, com base em dados secundários. Um panorama dos atores, seus interesses e relacionamentos foi estabelecido utilizando a abordagem de ecossistema de inovação agrícola. Entre os movimentos identificados, destacam-se: uma maior propensão dos produtores rurais à adoção de produtos e serviços digitais; um movimento de reinvenção dos atores tradicionais do setor, a fim de explorar as oportunidades desse novo ambiente digital; um aumento das colaborações entre as empresas tradicionais, os institutos de pesquisa e as universidades, e novos atores que ingressam nesse mercado, como empresas de tecnologia da informação, de telecomunicações e startups; e o papel-chave dos governos na oferta de infraestrutura e incentivos à inovação digital e na promoção da coordenação entre os atores.

Termos para indexação: agricultura 4.0, agropecuária, ecossistema de inovação, inovação, tecnologia da informação.

Digital revolution in the agricultural sector and transformation of innovative dynamics: new actors and relationships

ABSTRACT

The adoption of innovative technologies has historically offered opportunities to increase productivity, reduce the use of inputs and promote sustainability in the agricultural sector. The topic investigated in this article is the so-called Agriculture 4.0, understood as the development and application of digital technologies to the various links in the agricultural production chains. The objective of this research is to analyze how this movement transforms the innovative dynamics of agriculture, mapping the interested actors and the relationships established for innovation. Considering the emergence of the topic, an exploratory study was chosen, based on secondary data. An overview of the actors, their interests and relationships was established using the agricultural innovation ecosystem approach. Among the movements identified, the following stand out: a greater propensity of rural producers to adopt digital products and services; a movement to reinvent traditional players in the sector, in order to explore the opportunities of this new

* Este artigo faz parte da Chamada “CT&I no mundo em transformação: que atores, caminhos e motores se revelam?”

¹ Engenheira química, doutora em Política Científica e Tecnológica, analista na Embrapa Agricultura Digital, Campinas, SP. E-mail: martha.bambini@embrapa.br

² Economista, doutora em Ciências Econômicas, professora livre-docente no Departamento de Política Científica e Tecnológica do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (IG/Unicamp). Campinas, SP. E-mail: biabona@unicamp.br

Ideias centrais

- A agricultura 4.0 está associada a uma transição sociotécnica, caracterizada pela digitalização dos sistemas de inovação agrícola.
- Na transição, surgem novos atores, como empresas de TICs, juntamente a empresas nascentes de base tecnológica agropecuária, chamadas agtechs.
- As empresas já estabelecidas no setor sofrem uma pressão para estabelecer novas agendas estratégicas, adquirindo competências digitais e renovando seus modelos de negócios.
- Já está se estabelecendo uma Agricultura 5.0, embasada por tecnologias digitais mais avançadas e práticas sustentáveis.
- Esta evolução requer capacitação e inclusão digital de profissionais agrícolas e produtores, infraestrutura de conectividade de qualidade e um constante investimento em pesquisa agropecuária interdisciplinar.

Recebido em
30/06/2023

Aprovado em
04/03/2024

Publicado em
30/07/2024



This article is published in Open Access under the Creative Commons Attribution licence, which allows use, distribution, and reproduction in any medium, without restrictions, as long as the original work is correctly cited.

digital environment; increased collaborations among traditional companies, research institutes and universities, and new actors entering this market, such as information technology companies, telecommunication companies and startups; and the key role of governments in offering infrastructure and incentives for digital innovation and promoting coordination among actors.

Index terms: agriculture 4.0, agriculture, innovation ecosystem, innovation, information technology.

INTRODUÇÃO

O setor agropecuário é uma das mais importantes atividades da economia de um país, gerando produtos essenciais para a manutenção da segurança alimentar, sendo, por isso, protegido e subsidiado na maior parte do globo (FAO, 2021). Considerou-se, neste trabalho, que o setor agropecuário inclui tanto a agricultura, que se refere ao cultivo da terra, quanto a pecuária, que envolve as atividades de criação e produção de animais. Amaral & Guimarães (2017) consideram que o setor abrange não apenas a produção de alimentos in natura, destinados ao consumo humano e de animais, mas também a geração de matérias-primas industriais, voltadas à fabricação de alimentos industrializados, medicamentos, energia, celulose, têxteis e borracha.

Mundialmente, a agropecuária contribui para a renda de cerca de 3,5 bilhões de indivíduos e emprega, diretamente, 1 bilhão de pessoas (FAO, 2021). Considerando a perspectiva atual de uma população mundial de cerca de 8 bilhões de pessoas – conforme o United Nations Population Fund (UNFPA, 2023) –, pode-se dizer que a agropecuária contribui para o sustento de mais de 55% da população do globo.

O trabalho da OECD (2021) descreve os principais desafios que vêm se apresentando para o setor agropecuário na última década: alimentar uma crescente população que passa a ter mais acesso aos alimentos; oferecer meios de subsistência para aqueles que atuam ao longo da cadeia de abastecimento alimentar; e contribuir para a sustentabilidade ambiental e para a mitigação de mudanças climáticas globais. Adicionalmente, o setor ainda sofre efeitos da pandemia de Covid-19, especialmente na forma de recessões econômicas e elevação da pobreza (Jafari & Stamoulis, 2022). O conflito armado entre Rússia e Ucrânia, iniciado em 2022, juntamente com a guerra entre Israel e Hamas, na Palestina, em 2023, aumentam as incertezas associadas à agricultura global em virtude da elevação de preços e desabastecimento de insumos, como os fertilizantes nitrogenados, de elevações de preços de produtos agrícolas, de dificuldades de transporte e da inflação (Jafari & Stamoulis, 2022; FAO, 2023; Underwood, 2023).

As diversas possibilidades para evolução do setor agropecuário oferecem oportunidades de busca por soluções para os desafios que se colocam, seja pelas transformações tecnológicas, pelo aprimoramento institucional, por incentivos públicos ou por novos relacionamentos e arranjos formados para inovação.

Quanto a isso, torna-se essencial entender quais são as forças que direcionam a evolução do sistema agroalimentar, como estas interagem e quais são os mecanismos de mudança e de transformação. O trabalho da FAO (2022) destaca os seguintes direcionadores de mudanças do setor agropecuário: i) instituições e governança do setor; ii) informação e educação aos consumidores para apoiar a escolha de alimentos saudáveis e nutritivos; iii) melhor distribuição de renda e riqueza; e iv) tecnologias inovadoras. São direcionadores que interagem mutuamente, influenciando importantes dimensões da agropecuária, com impactos nas dimensões socioeconômica e ambiental.

Considerando o caráter disruptivo das tecnologias digitais aplicadas às cadeias agropecuárias, a temática investigada neste artigo é a chamada Agricultura 4.0, entendida como o desenvolvimento e aplicação de tecnologias digitais aos vários elos das cadeias produtivas da agropecuária. São analisadas, além das questões tecnológicas, os aspectos institucionais e organizacionais envolvidos.

Considerou-se, neste trabalho, que o termo “digitalização” remete à adoção e desenvolvimento de tecnologias de informação e de comunicação – incluindo softwares, internet e dispositivos móveis –, assim como processos de geração, coleta, combinação e análise de dados, para o desenvolvimento e oferta de serviços e aplicativos e apresentação e recuperação de conteúdos digitais (McFadden et

al., 2022). A agricultura digital se refere às inovações digitais aplicadas a toda a cadeia produtiva da agropecuária, começando pelos insumos, passando pela produção, logística, processamento, distribuição e varejo – *from seed to fork* – conforme Connolly (2018).

Klerkx & Rose (2020) apontam que o conceito de Agricultura 4.0 envolve mudanças importantes para os processos de produção, processamento, comercialização e consumo de alimentos. Esse termo foi estabelecido no contexto da terminologia da 4ª Revolução Industrial ou Indústria 4.0, estabelecido em 2011, fazendo referência a uma revolução tecnológica de escopo amplo, que inclui tanto a tecnologia da informação quanto processos de inovação associados a nanotecnologia, proteínas sintéticas, agricultura celular, edição gênica e agricultura digital, energias renováveis e computação quântica (Schwab, 2016; Klerkx & Rose, 2020).

Bolfé et al. (2020b) apontam que também o termo *smart farming* vem sendo utilizado para destacar o emprego de novas tecnologias digitais na gestão da propriedade, como Internet das Coisas, Computação em Nuvem, Big Data e Inteligência Artificial.

Independentemente da terminologia adotada, vários trabalhos destacam que existe a expectativa de que as tecnologias digitais possam ser veículos para enfrentar os desafios que se apresentam à agropecuária. A transformação digital desse setor cria várias oportunidades para elevação da produtividade, com a provisão de serviços tecnológicos, a oferta de maior transparência por meio de rastreabilidade, e a disseminação de práticas produtivas mais sustentáveis. Da mesma forma, plataformas informatizadas oferecem canais mais eficientes para compra e venda de insumos e acesso ao mercado dos produtos finais da agropecuária, reduzindo custos de transação e oferecendo mais segurança nos negócios.

Buscou-se responder às seguintes perguntas: como a digitalização está influenciando a dinâmica da inovação agropecuária? Quem são os atores envolvidos, seus interesses e desafios? Um estudo exploratório foi conduzido a fim de mapear a nova dinâmica da inovação agropecuária que se estabeleceu com o processo de transformação digital, apresentando um panorama dos atores envolvidos, seus interesses e papéis.

Tendo em vista o caráter emergente da Agricultura 4.0, um estudo exploratório revela-se uma abordagem de pesquisa adequada para essa investigação a fim de buscar uma maior compreensão das forças e interesses que direcionam esse processo de mudança técnica do sistema agroalimentar. O diferencial deste artigo é explorar as dimensões organizacionais e institucionais relacionadas à transformação digital do campo, enquanto a maioria das publicações acadêmicas e técnicas analisam os aspectos tecnológicos associados a esse processo. Entende-se que os resultados da pesquisa oferecem insumos para o dimensionamento de políticas públicas e ações privadas no contexto da atual revolução digital que se estabelece no campo, visando ao enfrentamento dos desafios enfrentados pela agropecuária.

O artigo tem seis seções além desta introdução. A próxima seção apresenta as transformações que a agropecuária vem sofrendo ao longo dos anos, até chegar à atual revolução digital do setor. Na sequência, discute-se a abordagem de ecossistema de inovação agrícola no âmbito da revolução digital. A quarta seção descreve a metodologia empregada no estudo. A seguir são apresentados os resultados e as análises conceituais promovidas, complementadas pelas conclusões e estudos futuros sugeridos.

TRANSFORMAÇÕES TECNOLÓGICAS DA AGROPECUÁRIA E A AGRICULTURA 4.0

O estudo da FAO (2021) destaca o papel central das inovações agrícolas na busca por um mundo sem fome e desnutrição, sejam elas inovações sociais, políticas, institucionais, financeiras ou tecnológicas. Considerando os últimos 50 anos, Vieira Filho & Fishlow (2017) ressaltam o papel essencial das inovações tecnológicas para proporcionar aumentos de produtividade agropecuária e aprimorar processos produtivos e logísticos.

O aprimoramento das práticas agropecuárias surgiu já no início da história da humanidade por meio da experimentação e da criação de conhecimentos associados à gestão da terra, ciências do solo, manejo de cultivos e criação de animais (Fuglie et al., 2020). Vieira Filho & Fishlow (2017) destacam que, em termos gerais, até 1900, eram empregadas técnicas rudimentares de cultivo. A partir de 1920, técnicas mais refinadas passaram a ser introduzidas e, na década de 1940, avanços tecnológicos originados em vários campos científicos puderam ser aplicados à agropecuária. Algumas novas tecnologias implementadas nesse período foram: motor a combustão interna nas atividades produtivas e novos compostos químicos e petroquímicos. Na década de 1950, com o desenvolvimento da indústria farmacêutica, o campo da biotecnologia se fortaleceu, com o uso de sementes híbridas e melhoradas. O crescimento da moderna indústria de biotecnologia se deu na década de 1970, com o desenvolvimento da biologia molecular, e se firmou em meados da década de 1990, com a manipulação genética de plantas e organismos vivos.

A Figura 1 apresenta, de forma resumida, as principais fases do desenvolvimento tecnológico das práticas agrícolas e pecuárias.

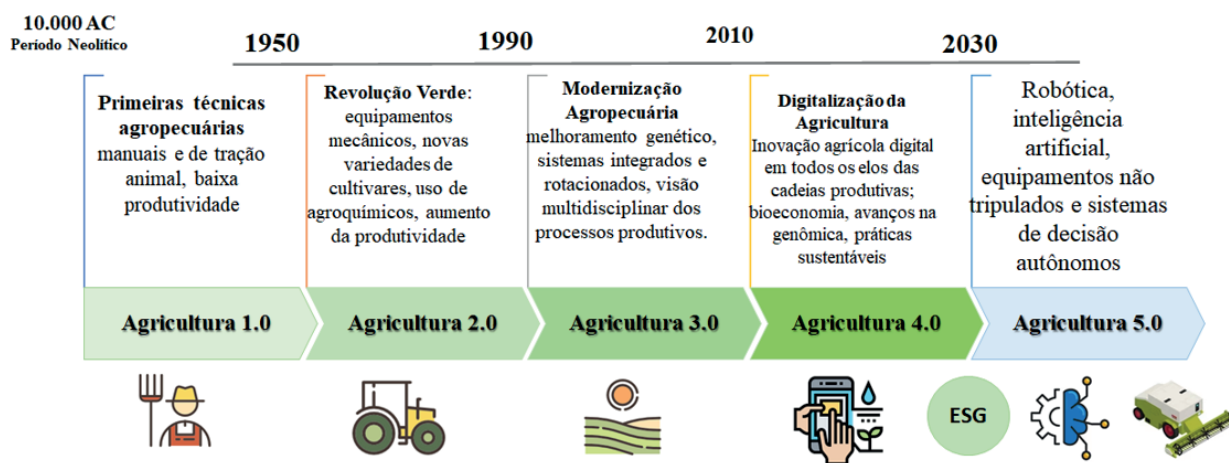


Figura 1. Fases da evolução tecnológica na agricultura.

Fonte: adaptado de Bambini (2021).

Na década de 1990, verifica-se a conformação de uma economia digital por meio de inovações disruptivas no campo das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), com a invenção de computadores pessoais e a disseminação da internet como veículo de comunicação. Na década de 2000, esse processo de mudança foi impulsionado pela difusão de smartphones entre a população mundial, tendo ampliado as possibilidades de interconexão e uso das novas tecnologias digitais.

A partir da década de 2010, o termo “transformação digital” se tornou cada vez mais presente na mídia de negócios e economia e em relatórios emitidos por consultorias de gestão empresarial, estando geralmente associado a um certo sensacionalismo e ao oferecimento de “fórmulas” para conduzir a transformação digital de uma organização. Uma parte das publicações da literatura acadêmica também investiga essa temática, que passa a ser entendida como um movimento de revolução digital. Ainda que impacte de forma variada os diferentes países e setores econômicos, esse movimento afeta todos os países, sejam desenvolvidos, emergentes ou em desenvolvimento, impactando diversas dimensões da atividade humana – economia, sociedade, governo, empresas, vida privada (Unctad, 2019).

Existem três grupos de fatores que sustentam o movimento de transformação digital, conforme a OECD (2019): i) um conjunto de tecnologias digitais, interdependentes, que oferece desafios e oportunidades a fim de impulsionar futuras mudanças econômicas e sociais; ii) processos de inovação baseados em tecnologias digitais e dados, que influenciam indivíduos, processos econômicos e a

sociedade como um todo; e iii) fatores habilitadores como infraestrutura; talentos e competências humanas; capital/financiamento; e regulação.

A transformação digital do campo é um movimento recente. Um estudo comparativo publicado pela consultoria McKinsey em 2015 apresenta uma análise do processo de digitalização dos diferentes setores da economia americana (Manyika et al., 2015). O estudo considera 27 indicadores para mensurar atividades de digitalização dos setores econômicos, evidenciando que o processo de digitalização ocorre de forma desigual entre os setores, com os segmentos e empresas mais digitalizados capturando benefícios de forma desproporcionalmente maior. Os setores de construção civil e agricultura apresentaram os menores graus de digitalização.

Paunov & Planes-Satorra (2019) destacam que cada setor econômico possui uma velocidade própria de desenvolvimento e disseminação de tecnologias digitais considerando os recursos e competências disponíveis para explorar oportunidades digitais a partir de infraestruturas de inovação e características do mercado (como aceitação de novos produtos, serviços e modelos de negócios). As autoras apontam que a digitalização torna as fronteiras setoriais mais difusas com a entrada de novos atores, alterando a dinâmica inovativa de setores mais tradicionais, como a agropecuária.

Schwab (2016) aponta que uma revolução digital da agricultura contribuirá para a sobrevivência e a prosperidade da humanidade no futuro, pelo aproveitamento de novas oportunidades derivadas da interconectividade e mobilidade de tecnologias computacionais, intensivas em dados, como parte do que o autor considera uma quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0³.

Chamado de Transformação Digital do Campo (TDC), ou Agricultura 4.0, o movimento de digitalização do campo busca promover a elevação da produtividade dos sistemas agropecuários utilizando-se de soluções antecipatórias adaptadas aos efeitos de mudanças climáticas, oferecendo níveis mais elevados de segurança alimentar, lucratividade e sustentabilidade (Trendov et al., 2019). Além disso, apresenta o potencial de oferecer um incremento na resiliência, produtividade e sustentabilidade da agropecuária, oferecendo maior transparência e confiabilidade às atividades de toda a cadeia produtiva, desde a produção na fazenda até a mesa do consumidor (OECD, 2018a).

Connolly (2018) ressalta que as inovações digitais podem transformar toda a cadeia produtiva da agropecuária, desde o plantio até o consumo (*from seed to fork*). Existe também uma grande promessa de que as tecnologias digitais possam ser veículos para enfrentar os desafios que se apresentam à agropecuária – como alimentar uma população mundial que cresce exponencialmente, garantir a segurança alimentar, reduzir a pobreza extrema, garantir a proteção dos recursos naturais e minimizar efeitos das mudanças climáticas (Embrapa, 2022).

Trendov et al. (2019) destacam que, nos próximos dez anos, tecnologias digitais emergentes como Internet das Coisas, Inteligência Artificial e Blockchain levarão a importantes transformações no setor agropecuário. A agricultura baseada em dados, por meio da coleta de informações com emprego de sensores, drones, imagens de satélite e sistemas de análise e apoio à decisão, já está transformando as práticas agropecuárias (Dutta et al., 2017).

Juwono et al. (2023) descrevem a transição da Agricultura 4.0 para a quinta revolução agrícola, destacando que o grande diferencial é justamente o foco em tecnologias digitais mais avançadas. Ainda que não se tenha claro qual é a data precisa de predomínio desse novo paradigma, espera-se que se desenvolva nas próximas décadas do século XXI (Polymeni et al., 2023; De La Parte et al., 2024).

De La Parte et al. (2024) apontam que a Agricultura 5.0 envolverá uma simbiose perfeita entre agricultura, tecnologias avançadas e práticas sustentáveis. Fraser & Campbell (2019) destacam o alinhamento dessa nova revolução da agricultura com tecnologias digitais e com práticas que preservem o meio ambiente como: a intensificação sustentável (utilizando menos água e insumos); a

³ Terminologia criada em 2011, na Alemanha, envolvendo uma revolução tecnológica que inclui tanto as tecnologias digitais, a genética, a nanotecnologia, as energias renováveis e a computação quântica.

adoção de práticas sociais e inclusivas (não somente tecnológicas); o enfrentamento de desperdício de alimentos na propriedade e/ou ao longo da cadeia de distribuição e no consumo; e o estudo das dietas vegetal e animal, buscando compreender o valor nutricional e custos de produção associados ao seu impacto no meio ambiente, considerando os diferentes processos de produção tanto de vegetais quanto de animais.

Entre os grupos tecnológicos de base para a Agricultura 5.0 descritos na literatura, temos: inteligência artificial e aprendizado de máquina, robótica, equipamentos e veículos autônomos e/ou não tripulados e visão computacional (Balaska et al., 2023; Juwono et al., 2023; Mesías-Ruiz et al., 2023; Polymeni et al., 2023; De La Parte et al., 2024). A coleta, análise e processamento de grandes volumes de dados de campo sustentam esses desenvolvimentos.

No atual contexto de uma Agricultura 4.0, o índice de cobertura de rede em localidades rurais é mais baixo do que em centros urbanos (Bambini, 2021) – com indicadores bastante inferiores ao que seria considerado adequado. A evolução das soluções de hardware e de telecomunicações, que vem ocorrendo de forma intensa, também deve favorecer os desenvolvimentos da Agricultura 5.0 (Mesías-Ruiz et al., 2023), de forma a permitir o enfrentamento de vários desafios atuais do setor agropecuário, ainda não equacionados de forma abrangente.

Outro desafio que se coloca para o setor agropecuário, a partir da tendência de crescente urbanização, é a migração dos trabalhadores do campo para as cidades em busca de empregos que gerem mais renda e melhores condições de educação e saúde (Embrapa, 2022). Balsadi (2022) cita as implicações dessa tendência no caso brasileiro, com destaque para a escassez de trabalhadores e elevação do custo da mão de obra rural.

Considerando essa tendência de urbanização, Polymeni et al. (2023) destacam que o emprego de robôs dotados de ferramentas de inteligência artificial nas atividades produtivas – tecnologias avançadas da Agricultura 5.0 – pode ser um instrumento para lidar com esse desafio. Segundo os autores, tecnologias de robótica permitem uma colheita mais rápida e em maior volume, apoiando os produtores no desenvolvimento de tarefas repetitivas.

Em muitos casos, no entanto, o trabalho humano ainda é mais eficiente do que as ferramentas de automação, quando sistemas baseados em internet das coisas apoiam a tomada de decisão dos produtores (Polymeni et al., 2023). Concepcion et al. (2022) indicam que, com a perspectiva de uma agricultura inteligente, automatizada e direcionada por dados, torna-se necessário que os trabalhadores do campo integrem suas habilidades às tecnologias digitais, em especial robôs e inteligência artificial. Quanto a isso, o estudo de Frank et al. (2021) reforça que a digitalização oferece novas oportunidades de emprego no campo para profissionais mais qualificados.

O contexto atual da Agricultura 4.0 é marcado, de forma geral, por um grande distanciamento entre a formação acadêmica e as necessidades de conhecimento e capacitação para atuação no campo (Frank et al., 2021). Vem surgindo, segundo Balsadi (2022), a demanda por novo perfil de profissional na agropecuária: com domínio de tecnologias digitais e formação tecnológica, levando à necessidade de reformulação dos sistemas de formação e capacitação de mão de obra, associada a uma constante atualização, tendo em vista as perspectivas de rápida evolução do setor.

Entre os requisitos de conhecimento citados por Frank et al. (2021) estão a habilidade na utilização de softwares para o processamento e análise das informações coletadas na propriedade, de forma a possibilitar uma tomada de decisão inteligente. Os autores destacam, ainda, alguns perfis de profissões emergentes na agricultura, entre eles: operador de drones, técnico em agricultura digital, designer de máquinas agrícolas, cientista de dados agrícolas, engenheiro de automação agrícola, entre outras.

Tendo em vista as perspectivas de evolução tecnológica apresentadas nesta seção, torna-se necessário desenvolver uma visão mais ampla para o desenvolvimento e evolução do setor agropecuário, de longo prazo, por meio de uma maior eficiência no uso dos recursos, levando a

aumentos de produção de forma sustentável e ambientalmente correta, proporcionando às pessoas produtos agrícolas de que necessitam, com qualidade e na quantidade adequada. Nesse contexto, existe a expectativa de desenvolvimento de novas políticas públicas, com incentivos e regulamentação específica, com o objetivo de apoiar as várias dimensões da Agricultura 5.0, não apenas em relação à questão tecnológica, mas também econômica, ambiental e social (Polymeni et al., 2023).

A próxima seção discorre sobre a digitalização da agropecuária e as atuais abordagens de estudo da inovação nesse contexto.

ABORDAGEM DE ECOSISTEMA DE INOVAÇÃO AGRÍCOLA NO ÂMBITO DA REVOLUÇÃO DIGITAL

A mudança tecnológica é um fator determinante para garantir o crescimento sustentável do setor agropecuário (Gasques et al., 2022). Ainda que o setor venha se transformando por meio da inovação, é preciso ressaltar que este é um processo complexo, multifacetado, que envolve vários atores ao longo da cadeia de valor, os quais influenciam, de diversas maneiras, essa transformação (Straete et al., 2022).

Para os fins deste trabalho, define-se inovação como “um processo ou produto novo ou aprimorado – ou uma combinação destes – que tenha sido disponibilizado aos potenciais usuários e que difira significativamente dos produtos e processos gerados anteriormente pelos atores envolvidos” (tradução nossa) (OECD, 2018b).

Os processos de inovação, de maneira geral, foram sofrendo algumas alterações em sua dinâmica ao longo dos anos. A partir da década de 1980, a crescente complexidade do desenvolvimento tecnológico, com o surgimento de problemas científicos cada vez mais desafiadores, e os recursos financeiros limitados tornaram evidente o fato de que as competências científicas, o conhecimento e as tecnologias de ponta estavam dispersos em várias organizações (Bambini, 2021). A partir dessa constatação, tornaram-se cada vez mais comuns os arranjos colaborativos para pesquisas multidisciplinares e outros processos de interação entre indivíduos, organizações e instituições para gerar inovações.

Na década de 2000, esse movimento passou a ser chamado de “inovação aberta”, envolvendo a colaboração entre diferentes partes interessadas – stakeholders – para a condução de projetos técnico-científicos de maior complexidade (Chesbrough, 2003). Esse movimento ocorre, segundo o autor, em um contexto de maior distribuição do conhecimento existente, seja por intermédio de bases de publicações, seja pelas facilidades de comunicação da internet. Adicionalmente, existe uma maior diversidade de universidades, empresas e centros de pesquisa públicos e privados que desenvolvem atividades de pesquisa e desenvolvimento, em um movimento de descentralização do conhecimento, recursos e equipes especializadas, juntamente com um aumento dos profissionais com formação científica nos vários países, levando a uma circulação internacional da força de trabalho inovadora.

Ao longo do tempo, várias teorias foram desenvolvidas para representar a dinâmica da inovação.

A abordagem de Sistemas de Inovação (SI), criada na década de 1990, representa o processo inovativo por meio de uma rede de organizações, como institutos de pesquisa, empresas privadas, órgãos governamentais, que fornecem novos produtos, novos processos e novas formas de organização para o meio econômico, inseridos em um conjunto de hábitos, práticas, rotinas, regras e leis fornecidos pelas instituições a fim de regular seu comportamento, relacionamentos e desempenho (Hall et al., 2005). Essa teoria considera perspectivas nacionais (Nelson, 1993), regionais (Cooke et al., 1997) ou setoriais (Malerba, 2002).

Um dos setores que foram amplamente estudados sob a ótica setorial foi a agropecuária, com base no conceito de Sistema de Inovação Agrícola (SIA) (Hall et al., 2005; Rajalahti, 2012). Historicamente, o processo de inovação na agropecuária é marcado pela interação entre um grande

número de stakeholders com interesses distintos, o que dificulta o alinhamento e a coordenação, assim como influencia o processo de mudança técnica no setor (Bonacelli et al., 2015; Paunov & Planes-Satorra, 2019).

A abordagem de Sistemas de Inovação Agrícola (SIA) é considerada um campo de estudos relativamente recente (Fielke et al., 2019). A representação dinâmica de um sistema de inovação agrícola auxilia na compreensão do processo de geração de conhecimentos e inovações, identificando e categorizando os atores e processos que são importantes para a evolução do setor agropecuário e o enfrentamento de seus desafios. Além das organizações, Salles-Filho et al. (2007) ressaltam o importante papel das inovações institucionais, a fim de promover novas formas de usar e valorizar os ativos do conhecimento, incentivar a geração de inovações, responder ao aumento da competição entre organizações, e promover flexibilidade e incentivos para identificar e incorporar respostas aos desafios ambientais e às demandas do mercado. Alguns exemplos de inovação institucional são: mudanças de gestão e/ou formato jurídico, implementação de nova infraestrutura, desenvolvimento de novas competências tecnológicas, assim como de mecanismos de coordenação dos atores e arranjos contratuais.

O trabalho de Fielke et al. (2019) descreve o movimento de Digitalização dos Sistemas de Inovação Agrícola (DSIA), com base na crescente influência da tecnologia digital na geração de valor para a agropecuária, influenciando as formas de interação entre indivíduos, organizações e sociedade. A análise da influência dos processos de digitalização do SIA permite visualizar as implicações dessa mudança técnica para o conjunto dos atores envolvidos na inovação agropecuária, especialmente instituições e governos, com o objetivo de direcionar novas políticas públicas mais adaptadas ao contexto atual, em um processo de coevolução.

Um dos fatores considerados para analisar a transição de um SIA para um DSIA é o conceito de ecossistema de inovação, entendido como as redes de comunidades de inovação que interagem em vários níveis (local, regional, nacional) com base em um objetivo comum. Derivada da abordagem de SIA, a perspectiva de ecossistemas de inovação vem sendo utilizada para analisar e investigar os processos inovativos e os relacionamentos estabelecidos entre os atores envolvidos (Suominen et al., 2019). Segundo Pigford et al. (2018), a visão de ecossistemas de inovação considera: a participação de múltiplos atores; as relações de poder estabelecidas nos processos de inovação; o componente ecológico do setor; e a interface entre diferentes sistemas de inovação setoriais e escalas de análise.

Ribeiro et al. (2019) consideram que a visão de “ecossistemas de inovação” amplia a perspectiva dos “sistemas de inovação”, ao destacar as parcerias e as trocas existentes entre os atores envolvidos e os aspectos éticos, sociais e ambientais associados. A abordagem de ecossistema de inovação, na visão de Pigford et al. (2018), pode ampliar a compreensão sobre os atores envolvidos no processo inovativo, por meio da analogia do ecossistema biológico, em que ocorre a interação de fatores biológicos no ambiente físico, em direção a um equilíbrio dinâmico. Ademais, os autores destacam que, no ambiente inovativo, o conjunto dos atores envolvidos no ecossistema estabelece processos de cooperação, retroalimentação, adaptação, apoio e competição, sendo inseparável de seu ambiente físico. Em resumo, a abordagem de ecossistemas de inovação agrícola pode encorajar processos de inovação coletivos e integrados a fim de melhor enfrentar os desafios complexos que surgem na transição para uma agricultura sustentável (Pigford et al., 2018).

O atual contexto de revolução digital do campo leva à interação dos atores tradicionais da agropecuária – empresas públicas de pesquisa agropecuária, universidades, extensão rural, grandes fornecedores de insumos e equipamentos, serviços financeiros, processadores, cooperativas e produtores e criadores de pequeno, médio e grande portes (Rajalahti, 2012; Dutta et al., 2017) – com novos atores atraídos pelas oportunidades da digitalização.

Entre os novos atores estão: grandes empresas do setor de tecnologia de informação e telecomunicações e startups de base tecnológica – tanto do setor agropecuário (Agtechs) como alimentar (FoodTechs) – e várias organizações de fomento a novos empreendimentos, como aceleradoras e incubadoras de empresas nascentes e os investidores de *venture capital* (Aranha, 2016).

Com isso, se estabelece uma nova dinâmica inovativa baseada em novos interesses, oportunidades e relacionamentos. Esse ecossistema de atores – tradicionais e novos – está imerso no ambiente institucional do setor agropecuário, caracterizado por legislação, práticas e regras específicas do setor, que também evolui em relação a regular novas práticas e criar incentivos aos diversos atores e relacionamentos. Tendo em vista que as diferentes categorias de atores possuem atribuições e competências específicas, existe um movimento de criação de arranjos e parcerias entre eles. Destaca-se que o desenvolvimento de iniciativas voltadas para a inovação digital na agropecuária dependerá dos ativos e das competências existentes no ecossistema, assim como dos relacionamentos e combinações estabelecidos pelos atores ao longo do tempo.

A próxima seção apresenta a metodologia utilizada para o estudo exploratório.

METODOLOGIA

Este trabalho apresenta os resultados de uma pesquisa qualitativa de caráter exploratório, desenvolvida com base em dados secundários. O objetivo do estudo foi mapear a nova dinâmica da inovação agropecuária que se estabelece a partir do processo de transformação digital, apresentando um panorama dos atores envolvidos, seus interesses e papéis. Buscou-se responder às seguintes perguntas. Como a digitalização está influenciando a dinâmica da inovação agropecuária? Quem são os atores envolvidos, seus interesses e desafios?

Gil (2008) considera que as pesquisas exploratórias têm a finalidade principal de esclarecer conceitos e ideias, buscando estabelecer hipóteses ou problemáticas de uma forma mais específica para a condução de estudos futuros. Esse tipo de investigação é mais flexível e é adequado para temáticas emergentes em fase de estabelecimento de novas teorias e fatores de influência, como é o caso da transformação digital do setor agropecuário.

O estudo foi conduzido com base em dados secundários, iniciando-se por uma revisão narrativa da literatura acadêmica sobre o tema de interesse. O segundo passo foi iniciar uma busca de relatórios técnicos gerados por organizações de referência no tema, como Banco Mundial, FAO, IICA, BID e empresas privadas, complementada por análise de artigos acadêmicos sobre temas específicos identificados nesta análise. O conjunto dessas etapas permitiu identificar os principais direcionadores dos processos de transformação digital no contexto da agropecuária e mapear os atores interessados, por meio da abordagem de ecossistema de inovação agrícola.

A Tabela 1 apresenta os principais relatórios técnicos internacionais analisados na pesquisa. Destaca-se que a análise dos fatores que direcionam a TDC parte da premissa que diferentes tipos de condições podem contribuir para tornar provável – mas não certa – a ocorrência de um dado fenômeno (Selltiz et al., 1975). Vários direcionadores podem ocorrer conjuntamente ou alternativamente para fortalecer ou não a digitalização do campo.

Tabela 1. Principais relatórios técnicos internacionais analisados na pesquisa.

Ano de pub.	Título do relatório	Fonte de dados/autoria
2022	<i>The future of food and agriculture</i>	FAO (2022)
2021	<i>Strategic framework 2022-31</i>	FAO (2021)
2021	<i>What's cooking: digital transformation of the agrifood system</i>	Schroeder et al. (2021)
2020	<i>Rural connectivity in Latin America and the Caribbean</i>	Ziegler et al. (2020)
2019	<i>Digital technologies in agriculture and rural areas - status report</i>	Trendov et al. (2019)
2019	<i>Future of food: harnessing digital technologies to improve food system outcomes</i>	World Bank (2019)
2019	<i>Cisco global digital readiness index 2019</i>	Cisco (2020)

A seguir são apresentados os resultados e análises derivadas da pesquisa exploratória.

PANORAMA DO ECOSISTEMA DE INOVAÇÃO AGRÍCOLA E SEUS ATORES

A partir da década de 2010, processos de mudança tecnológica de base digital vêm contribuindo para criar uma nova dinâmica inovativa em vários setores econômicos e, mais recentemente, também no setor agropecuário. Esse processo vem sendo, nos últimos anos, analisado por meio do arcabouço dos ecossistemas de inovação agrícola (Pigford et al., 2018) como forma de representar o arranjo de organizações que interagem entre si em processos de inovação colaborativos por meio de processos de cooperação, competição, adaptação e suporte mútuo que se desenvolvem em um dado contexto.

Trendov et al. (2019) destacam que existe um grande número de atores interessados nos processos de Transformação Digital do Campo (chamados stakeholders). Esse fenômeno vem transformando não apenas as práticas produtivas, mas também todos os elos das cadeias de valor da agropecuária, com a adoção de inovações digitais que se dá ao longo de toda a cadeia, iniciando-se pelos insumos (fertilizantes, sementes, defensivos e serviços financeiros); pela oferta de máquinas e instrumentos com tecnologias digitais embarcadas e sistemas de gestão da produção; e pela oferta de novos processos e serviços relacionados a compra e comercialização, sistemas de pagamento, serviços financeiros e tecnológicos, e sistemas de logística e de distribuição de produtos.

Novos atores, especialmente do campo das tecnologias digitais e/ou serviços de telecomunicações, passam a interagir com os atores tradicionais da agropecuária, oferecendo serviços para produtores e criadores, estabelecendo parcerias com: institutos públicos de pesquisa e universidades; grandes corporações de insumos; e instituições financeiras que atuam com crédito e seguro rural. Estabelecem-se novas formas de colaboração que envolvem complementaridade e competição, as quais requerem novas infraestruturas de comunicação e novos arranjos organizacionais.

À medida que a digitalização transforma o setor agropecuário, há que se analisar as implicações desse processo, tanto para aproveitar as oportunidades oferecidas, quanto para mitigar riscos relacionados (Fielke et al., 2019). Destaca-se que as transformações não são simplesmente tecnológicas – há que se analisar os valores subjacentes às diferentes iniciativas. Ressalta-se que a agricultura digital não pode ser simplificada, nem ser considerada uma panaceia para elevar produtividade e sustentabilidade. As iniciativas de inovação digital devem ser exercidas com responsabilidade e ética, a fim de possibilitar uma melhor repartição de benefícios e ganhos, com base em uma avaliação dos impactos estimados e efetivos de cada vertente da digitalização.

A seção a seguir apresenta, com base na literatura e nos relatórios técnicos analisados, um panorama dos atores interessados nos processos de digitalização das cadeias produtivas, assim como seus interesses e atuação, descrevendo a nova dinâmica inovativa que se estabelece.

Revolução digital na agropecuária: novos atores e relacionamentos estabelecidos para inovação

Uma especificidade histórica da dinâmica inovativa no setor agropecuário é a interação de um grande número de stakeholders⁴ com interesses distintos, levando a dificuldades de alinhamento e coordenação, que influenciam o desenvolvimento e disseminação de novas tecnologias (Bonacelli et al., 2015; OECD, 2019).

As categorias de atores que vêm participando do processo de inovação tecnológica da agropecuária nos últimos 50 anos são descritas pela literatura recente (Rajalahti, 2012; Dutta et al., 2017; Faure et al., 2018; World Bank, 2019). Os principais envolvidos são:

- Produtores rurais, de diversos portes e segmentos, com grande diversidade de capacidades e recursos no que se refere à adoção de novas tecnologias.

⁴ O termo stakeholder se refere ao grupo de indivíduos e/ou organizações que têm interesse em um dado processo, como a inovação agropecuária.

- Associações e cooperativas de produtores, que oferecem mecanismos de estruturação de alguns segmentos da agropecuária, contribuindo para a disseminação de boas práticas e tecnologias.
- Instituições de ensino e pesquisa (universidades e faculdades de ciências agrárias, assim como institutos públicos de pesquisa agropecuária) que são tradicionais geradores de novos conhecimentos e tecnologias para o setor.
- Empresas privadas fornecedoras de insumos e equipamentos (já estabelecidas, chamadas, na literatura, de *incumbents*) e provedores de serviços financeiros que buscam aproveitar as oportunidades oferecidas pela digitalização do campo.
- Indústrias processadoras, distribuidoras e agentes comerciais (*traders*).
- Empresas de assistência técnica e extensão rural.
- Organizações que atuam para o desenvolvimento do setor (institutos técnicos, câmaras agrícolas, empresas de engenharia e planejamento rural).
- Intermediários que distribuem conhecimentos entre os atores (associações setoriais, empresas de consultoria, sindicatos rurais, mídia especializada).

A análise aqui efetuada se dá no contexto do processo de Digitalização de Sistemas de Inovação Agrícola (DSIA), investigado por Fielke et al. (2019) e apresentado como uma transição sociotécnica da agropecuária que ocorre com a crescente influência da tecnologia digital nos resultados inovadores do setor, levando a ganhos incrementais de produtividade e transformações na dinâmica inovativa. Araújo et al. (2021) destacam, no entanto, que a Agricultura 4.0 não envolve apenas o aprimoramento das práticas produtivas. Esse novo paradigma altera o funcionamento dos sistemas agropecuários, desde a produção, passando pelo processamento, distribuição e varejo, até o consumidor final.

De uma forma geral, o movimento de transformação digital pode ser apresentado como o resultado dos efeitos combinados de várias inovações digitais, um fenômeno que traz novos atores, estruturas, práticas, valores e crenças que mudam, ameaçam, substituem ou complementam as regras do jogo existentes dentro de organizações, ecossistemas e setores (Hinings et al., 2018). O processo de digitalização dos sistemas de inovação agrícola estrutura-se pela interação entre atores humanos e tecnológicos, com base nas características de um dado sistema agropecuário e os stakeholders a ele relacionados, para o sucesso de uma dada ideia inovadora de base digital. Esse movimento introduz novos atores, novos processos e novos interesses aos processos de inovação agrícola, mudando as relações de poder no sistema agroalimentar (Kosior, 2018).

Entre os novos atores que surgem, interessados nas oportunidades da digitalização do setor agropecuário, destacam-se:

- Grandes empresas do setor de tecnologia da informação (TI) como Bosch, Cisco, Facebook, IBM, Intel, Microsoft, Google (Robertson et al., 2018; Facebook..., 2020; Von Veltheim & Heise, 2020), interessadas em ofertar para esse setor.
- As operadoras do setor de telecomunicações que, tendo em vista a demanda por conectividade rural e a necessidade de otimização do alcance de transmissão de redes sem fio, redução da latência e aumento da velocidade de processamento, buscam ampliar seu mercado de atuação (Araújo et al., 2021).
- Startups Agtech digitais que buscam estabelecer-se no setor com oferta inovadora de produtos e serviços digitais.
- Novos atores que fomentam o empreendedorismo Agtech: aceleradoras, incubadoras de empresas, parques tecnológicos, hubs de inovação, investidores de risco.

Todos esses atores – tradicionais e novos – estão imersos no ambiente institucional do setor agropecuário, caracterizado por legislação, práticas e regras específicas do setor. Ressalta-se que a digitalização da agropecuária introduz novas regras econômicas e modelos de negócios ao setor, estabelecendo pressões para que as empresas estabelecidas – em geral, as grandes multinacionais fornecedoras de insumos e equipamentos – desenvolvam novas agendas estratégicas para renovar seus modelos de negócios; aproximar-se e colaborar com outros atores de um ecossistema de inovação; estabelecer uma cultura de abertura de informações, aprendizado e adaptação; e adquirir novas competências para conseguir escalar seus novos produtos e atuar em novos papéis de mercados (Annosi & Brunetta, 2021).

Os governos possuem um papel-chave na digitalização da agropecuária, e na promoção de políticas e programas para fortalecer o ecossistema de inovação. O contexto de digitalização implica mudanças no contexto das políticas públicas, tanto agrícolas, quanto aquelas para digitalização, com a necessidade de uma governança adaptativa para atender a novas demandas, como: infraestrutura de conectividade, políticas de privacidade e uso de dados, desenvolvimento de habilidades digitais, e promoção de sustentabilidade por meio de tecnologias digitais.

Cada um dos atores tem contribuições e competências específicas no contexto de um ecossistema de inovação agrícola digital. O ritmo de desenvolvimento de iniciativas voltadas para a inovação digital na agropecuária dependerá dos ativos e das competências existentes no ecossistema, assim como dos relacionamentos e combinações estabelecidas ao longo do tempo. A Figura 2 apresenta uma representação dos atores envolvidos em um ecossistema de inovação agrícola, considerando várias dimensões: conhecimento (universidades e institutos de pesquisa); iniciativa privada (empresas de diversos portes e atuações, startups, mecanismos de incentivo a startups); governo; produtores (de diversos portes); cooperativas; extensão rural; consumidores; e sociedade em geral.

Van Es & Woodard (2017) apontam algumas fontes de inovações digitais para a agropecuária: as universidades e institutos de pesquisa agrícolas de ponta, por meio de grupos de pesquisa, laboratórios e capital humano especializado; as grandes empresas tradicionais do setor, chamadas *Big Ags*, e as conhecedoras desse mercado; novos atores, como as grandes corporações do setor de tecnologia de informação (como IBM, Microsoft e Google) e telecomunicações; e as startups de base tecnológica agropecuária (Agtechs).

Schroeder et al. (2021) consideram que a transformação digital da agropecuária se concretiza no nível privado, no contexto das propriedades rurais que podem ou não adotar as tecnologias digitais oferecidas por grandes empresas, startups ou serviços de governo.



Figura 2. Representação das dimensões do ecossistema e inovação agrícola.

Fonte: adaptado de Bambini (2021).

Movimentos do setor privado

No que se refere às grandes empresas fornecedoras de insumos agropecuários, verificam-se movimentos recentes de concentração do mercado de insumos agropecuários, por meio de várias fusões e aquisições que envolvem as seis maiores empresas do setor, as chamadas *Big Six* – BASF, Bayer, Dow, DuPont, Monsanto e Syngenta – conforme Kalaitzandonakes & Zahringer (2018). Os movimentos citados foram: a fusão entre Dow e DuPont (2015); a oferta da China National Chemical Corporation para adquirir a Syngenta; e a oferta da Bayer para adquirir a Monsanto, ambas em 2016. Essas três propostas de fusão e aquisição levaram alguns anos para serem consumadas, tendo em vista a análise de aspectos regulatórios e questões relativas ao ambiente competitivo no setor. A Bayer teve de assumir a venda de uma parte da empresa para a BASF (negócio de sementes e herbicidas) a fim de que a compra da Monsanto fosse aprovada pelo Departamento de Justiça dos Estados Unidos. Adicionalmente, em 2018, deu-se a fusão das empresas Agrium Inc. e Potash Corporation of Saskatchewan Inc. (PotashCorp), formando a Nutrien, o principal fornecedor mundial de insumos, nutrientes e serviços. No mesmo ano, a trading norte-americana de grãos Archer Daniels Midland (ADM) adquiriu sua rival Bunge, em um movimento de consolidação, a fim de manutenção da lucratividade.

Sobre todo esse movimento de aquisições e fusões, Kosior (2018) ressalta a grande concentração de poder de mercado em poucos e grandes fornecedores.

Além do segmento de insumos, existem grandes corporações que atuam na oferta de bens duráveis, como equipamentos agrícolas, agora revestidos de camadas de serviços digitais e conectividade. A OECD (2018a) aponta que os grandes fornecedores de maquinário e insumos são importantes canais de entrada para a transformação digital no campo, por meio de tecnologias digitais embarcadas em equipamentos conectados e da oferta de serviços digitais associados a produtos físicos (como sementes e agroquímicos). O oferecimento de maquinário equipado com GPS, piloto automático, sensores e conectividade em nuvem pelos fornecedores tradicionais é cada vez mais comum, criando um valor adicional para os produtores e tornando os equipamentos mais avançados e competitivos (Kosior, 2018).

As corporações de insumos vêm estabelecendo parcerias estratégicas com fornecedores de máquinas e equipamentos a fim de também oferecer soluções digitais para o campo. A autora destaca uma preocupação relacionada a um aprisionamento tecnológico (chamado *lock-in* na economia), estabelecendo, como padrão, modelos que sejam mais vantajosos aos grandes grupos empresariais dominantes, com eventual discriminação de pequenos produtores ou aqueles que realizem práticas produtivas alternativas.

Um exemplo destacado pela autora é o caso da agricultura direcionada para dados, mais vantajosa para aplicação em grandes propriedades com utilização de maquinário. Com relação a isso, entende-se que o atendimento a demandas de pequenos produtores, que, em geral, não se utilizam de grandes equipamentos, talvez não seja prioritário para os grandes fornecedores de soluções de dados, com risco de excluí-los desse processo. Uma estratégia, nesse caso, seria estabelecer um modelo mais adequado a esse contexto, como a criação e distribuição de soluções via cooperativas e associações.

Kosior (2018) lista um grande número de categorias de atores interessados em extrair valor econômico com base em dados agropecuários. Entre eles temos: os fornecedores de equipamentos e as grandes corporações de insumos agropecuários (entre eles, John Deere, Monsanto, Cargill, DowDuPont); as startups que atuam em coleta e análise de dados, assim como outras tecnologias digitais; as grandes empresas de TI (Google, IBM, Oracle); os produtores, as cooperativas, as *traders* e as indústrias de alimentos; as organizações que formam alianças de dados agropecuários; o setor público; e organizações internacionais. Destacam-se a participação de empresas de tecnologia e internet e o grande crescimento das startups digitais que atuam com foco nos mercados agropecuário e alimentar.

As empresas nascentes de base tecnológica, chamadas startups, vêm se posicionando como novos fornecedores de serviços digitais, oferecendo plataformas tecnológicas acessadas via smartphones e com interfaces mais acessíveis ao produtor. Essas novas plataformas de produtos e serviços permitem que produtores de localidades mais ermas possam ter acesso a conhecimentos, conteúdos e mercados anteriormente inacessíveis.

Agtechs

O fortalecimento do segmento mundial de startups Agtech⁵ se dá nos anos 2010 (França et al., 2020), em especial nos países com importante participação econômica da agropecuária em suas economias, como Estados Unidos, China, Índia, Reino Unido, Israel, Canadá e França (Agfunder, 2021), por meio do crescimento dos investimentos de *venture capital* e das aquisições de empresas nascentes por corporações. Vários atores do ecossistema de inovação agrícola – como instituições de ensino e pesquisa e grandes empresas – vêm interagindo com as startups, impulsionados pelo seu potencial inovador, juntamente com ações de incentivo privado e governamental, a fim de aproveitar as oportunidades oferecidas pela digitalização do campo em iniciativas de inovação aberta.

Do ponto de vista da geografia da inovação agropecuária, entende-se que a evolução do movimento Agtech está associada a dois fatores: i) existência de um contexto regulatório mais favorável à inovação e empreendedorismo; ii) ambiente inovativo formado por organizações de apoio e fomento a startups, como as incubadoras e aceleradoras de empresa, os hubs de inovação e os investidores de capital de risco (Waltz, 2017). Programas de aceleração, mentorias, parcerias para inovação colaborativa, investimentos privados, incentivos governamentais e regulação adequada são fatores que contribuem para promover o fortalecimento do empreendedorismo agrícola e a obtenção de benefícios digitais para o setor como um todo.

As Agtechs oferecem novos produtos e serviços digitais a vários públicos – como produtores, cooperativas, empresas agropecuárias e profissionais do setor. Exercitam modelos de negócios inovadores e possuem um papel central na nova dinâmica da inovação digital do campo por sua agilidade, por tolerância ao risco e pelas interfaces que estabelecem com vários outros atores do ecossistema de inovação. Entre as ofertas das Agtechs digitais temos: equipamentos agrícolas, informações meteorológicas, melhoramento genético, fertilizantes, herbicidas, sistemas de irrigação, sensoriamento remoto (incluindo imagens de satélite e de drones), técnicas de gestão da propriedade, até a análise de grandes volumes de dados agrônômicos para obter melhorias na produtividade (Teng, 2017).

Destaca-se que o contexto de desafios, pelos quais atualmente passa o setor agropecuário, influenciou negativamente os investimentos de risco em Agtechs no ano de 2022, com uma redução de 44% no valor investido na comparação com 2021, de forma alinhada ao mercado de *venture capital* global. O montante de investimento mundial em Agtech foi de cerca de 30 bilhões de dólares em 2022, valor superior ao montante de 2020, mesmo com essa redução observada. Em termos de montante investido, Agfunder (2023) aponta que a América do Norte teve o maior volume de recursos (13,6 bilhões de dólares), a Ásia ficou em segundo lugar (8,6 bilhões de dólares), a Europa em terceiro lugar (5,1 bilhões de dólares), seguida pela América Latina (1,1 bilhão de dólares).

As startups Agtech se tornaram bastante atrativas para grandes empresas – tanto as tradicionais fornecedoras de insumos e equipamentos, quanto empresas de TI e operadoras de telecomunicações. De uma maneira geral, as empresas tradicionais do mercado, já estabelecidas em seus segmentos, buscaram se reinventar no novo contexto da transformação digital, buscando incrementar sua oferta digital e desenvolver novos modelos de negócios e novos segmentos de atuação. Esse movimento também ocorreu no contexto da agropecuária, com um movimento de aproximação de corporações e startups, por meio de parcerias para cocriar novos produtos e serviços digitais e compartilhar competências e culturas inovadoras ou mesmo por intermédio de investimentos de risco e/ou aquisições.

⁵ O empreendedorismo Agtech, chamado algumas vezes de AgriFoodTech, inclui tanto as startups que atuam com o setor de insumos, produção, logística e distribuição quanto aquelas que atuam com o desenvolvimento de novos alimentos, atuando também nos segmentos de varejo e consumo final, segmento chamado FoodTech.

A primeira aquisição mundial de destaque no segmento Agtech foi a compra da Climate Corporation pela Monsanto em 2013, por um valor estimado de 1 bilhão de dólares, tendo atraído muita atenção sobre o empreendedorismo de base tecnológica agrícola. Essa aproximação garantiu à Monsanto competências para coletar e analisar dados de campo, em especial de tempo e clima, a fim de oferecer serviços de apoio à decisão para os produtores.

A Climate Corporation, como subsidiária da Monsanto, adquiriu, em 2016, a startup VitalFields (fundada na Estônia), que ofertava serviços digitais de gestão agrícola com foco nos processos regulatórios do mercado europeu (Burwood-Taylor, 2016). A aquisição teve dois objetivos importantes: i) utilizar a ferramenta da startup, uma das mais desenvolvidas naquele momento, para complementar a oferta da Climate Corporation, com o desenho da plataforma Climate FieldView™; e ii) passar a atuar no mercado europeu, por meio da experiência da VitalFields e seu conhecimento sobre as demandas e legislação da região.

Atualmente, depois do movimento de fusões e aquisições das grandes multinacionais de agroquímicos, a Climate Corporation é uma subsidiária da Bayer, depois que esta adquiriu a Monsanto. A tecnologia Climate Fieldview™ se tornou a plataforma digital da Bayer, com agregação de dados agronômicos e geração de informação por meio de: sensores vinculados à plataforma; e análise dos dados da operação da fazenda – desde a performance dos cultivos até a saúde dos campos em crescimento. O modelo de negócios envolve licenças de uso anuais com diferentes serviços, assim como oferta gratuita para clientes fidelizados (Bayer, 2023).

A plataforma Climate Fieldview™ vem estabelecendo parcerias com várias empresas para prover informações em múltiplas plataformas, com várias parcerias estabelecidas. A compatibilidade da plataforma com outros produtos e soluções promove interoperabilidade e aprimora a sua proposta de valor ao mesmo tempo em que agrega mais dados à plataforma.

Outros casos representativos ocorreram no segmento de máquinas e equipamentos. A empresa John Deere – que, no passado, já fez uma oferta para aquisição da Monsanto – adquiriu, em 2017, a startup Blue River Technology. Fundada em 2011, Blue River tem sua base na Califórnia e atua no ramo da inteligência artificial, desenvolvendo tecnologias de *machine learning* para agricultura de precisão. A startup construía robôs fixados em tratores que utilizavam visão computacional, com câmeras e processadores sofisticados, a fim de distinguir ervas daninhas de plantas cultivadas ao aplicar herbicidas (Marshal, 2022). Em 2021, a John Deere adquiriu a startup Bear Flag Robotics, também do Vale do Silício, que desenvolveu um sistema de navegação autônomo que pode ser adaptado em tratores existentes. Tanto a Blue River Technology quanto a Bear Flag Robotics são hoje marcas do portfólio da Deere & Company, mantendo ainda uma identidade própria. A corporação adquiriu recentemente outras startups e patentes em inteligência artificial. Mesmo com mais de 180 anos de existência, a John Deere vem obtendo êxito em relação a modernizar sua linha existente de produtos e serviços e posicionar-se estrategicamente para desenvolver uma linha de máquinas autônomas (Marshal, 2022).

Governos

Ainda que a TDC seja, em grande medida, conduzida por ações da iniciativa privada, a literatura destaca o papel-chave dos governos nacionais no provimento dos direcionadores essenciais para a digitalização do campo (Unctad, 2019; Schroeder et al., 2021). Algumas ações mencionadas são: instalar infraestrutura; fomentar o desenvolvimento de competências digitais; coordenar a distribuição de benefícios digitais entre os atores; e prover regulação que garanta o cumprimento de preceitos éticos e sustentáveis, garantindo confiança em relação ao ambiente digital.

Políticas públicas têm um papel fundamental na criação de um ambiente propício nesse momento de transição da agropecuária (Dutta et al., 2017). As políticas e programas públicos devem ser estabelecidos com o propósito de: fortalecer o ecossistema de inovação agrícola, preenchendo lacunas e resolvendo falhas de direcionamento; e criar regulações no contexto da economia digital e

da cultura de inovação, de forma a estimular a atividade dos atores (Dutta et al., 2017; Schroeder et al., 2021). Outra contribuição se dá na digitalização de produtos e serviços públicos ofertados ao setor agropecuário, contribuindo para disseminar tecnologias digitais e seu uso pelo mercado agropecuário. Alguns exemplos são: aplicativos e websites para oferecer serviços de atendimento, e informações de apoio à gestão e monitoramento georreferenciado de atividades produtivas (Dutta et al., 2017).

Outra área-chave destacada por Schroeder et al. (2021) é o investimento governamental em pesquisa e desenvolvimento agrícola a fim de: criar novos conhecimentos e tecnologias; estimular a cooperação científica; e realizar a colaboração inovativa entre setores do governo e empresas por meio de parcerias público-privadas. Bambini (2021) destaca que a nova dinâmica da inovação agrícola digital transforma também o papel dos institutos de pesquisa e universidades agrícolas tanto em relação a organizar bases de dados e informações agronômicas para atender ao mercado, como também estabelecer funções de orquestração e intermediação entre startups, pesquisadores, corporações e investidores, fomentando e fortalecendo o ecossistema de inovação.

Nos países em desenvolvimento, as organizações públicas de extensão rural têm papel importante na difusão de novos conhecimentos e boas práticas produtivas para o setor produtivo, especialmente para pequenos produtores. A digitalização dos serviços públicos de assistência e extensão rural oferece uma boa relação custo-benefício quanto a contribuir para aumentar a lucratividade das propriedades, com conteúdo atualizado, equipe enxuta e custos moderados de deslocamento (World Bank, 2019). As tecnologias digitais não substituem as visitas, mas oferecem funções complementares, possibilitando a interação em tempo real com os produtores e a oferta de conteúdo variado, atendendo a desde problemas mais específicos até desafios globais do setor agropecuário, como a promoção de práticas sustentáveis e soluções de mitigação de mudanças climáticas, assim como técnicas de acesso a mercados. Serviços digitais de extensão rural permitem que localidades mais distantes sejam atendidas, mas são necessários alguns complementos que necessitam ser desenvolvidos, geralmente por meio de políticas públicas: infraestrutura de conectividade; acesso dos produtores a dispositivos digitais; oferta de conteúdo relevante para os diferentes produtores; e desenvolvimento de competências digitais tanto dos extensionistas quanto dos profissionais, agricultores e criadores.

Novo perfil do produtor

Pesquisas brasileiras recentes vêm evidenciando novos hábitos do produtor rural brasileiro na adoção de tecnologias digitais (ABMRA, 2017; Sebrae, 2017; Bolfe et al., 2020a; McKinsey & Company, 2021). Ainda que os resultados não sejam comparáveis entre si, evidenciam *insights* importantes em relação à adoção de tecnologias digitais em propriedades rurais.

As pesquisas conduzidas no ano de 2017 (ABMRA, 2017; Sebrae, 2017) já indicavam a utilização de tecnologias digitais baseadas no uso da internet para gestão financeira e administrativa, como: e-mail, whatsapp, uso de browser para busca de informação técnica, acesso a serviços financeiros e de governo, pesquisa de preços, compra e venda.

Muitas vezes são os mais jovens que atuam na inserção de novas tecnologias digitais nas propriedades, ainda que estas continuem a ser geridas pelas gerações anteriores (pais ou avós). Com isso, os gestores começam a entender melhor o tipo de ajuda que as novas ferramentas podem trazer, reduzindo barreiras à adoção.

O estudo da empresa McKinsey & Company (2021) teve foco no processo de tomada de decisão dos agricultores brasileiros considerando a integração digital das principais dimensões de sua jornada, desde a compra de insumos e maquinário, passando pela comercialização da produção, inovação & tecnologia, planejamento, gestão financeira e de riscos e sustentabilidade. A pesquisa evidenciou que os produtores brasileiros têm maior propensão do que seus pares americanos e europeus a utilizar canais online para compra de insumos. A pandemia da Covid-19 levou ao aumento das interações digitais principalmente na etapa de cotação (cerca de 70% das preferências), e mais da metade das pessoas envolvidas nessas interações prefere realizar pesquisas, comparações e recompra virtualmente.

Mais da metade dos produtores consultados utiliza o whatsapp como plataforma principal para transações digitais. As plataformas digitais que atuam como *marketplace* de insumos vêm ganhando espaço, ainda que fragmentadas. Os outros canais citados para transações foram: e-mail e sites não especificados.

Um em cada dois produtores pesquisados utiliza tecnologias de precisão. As principais razões de não utilização são: altos custos (52%); falta de infraestrutura (26%); falta de entendimento sobre o uso de novas tecnologias como maquinários atuais (20%) e outros (12%).

A pesquisa da McKinsey & Company (2021) identificou que a digitalização está presente ao longo de toda a jornada do agricultor, mas seu uso ainda é muito heterogêneo, considerando as diferentes culturas, regiões e o perfil de produtores. Entende-se que existe a necessidade de ofertar soluções diferenciadas e segmentadas em virtude desses critérios. Os produtores valorizam o atendimento e contato pessoal, mas existe abertura para soluções multicanal (com diversos canais para atender o cliente: virtuais e pessoal). O trabalho de Dutta et al. (2017) ressalta que existe um efeito de retroalimentação, pois, à medida que o produtor passa a adotar novas tecnologias digitais, ele estimula o investimento público e privado em pesquisa e desenvolvimento, estimulando cooperações empresariais intersetoriais e as oportunidades.

As pesquisas analisadas evidenciam que a cobertura de serviços de conectividade no campo é falha e muitas vezes inexistente. Os principais obstáculos à adoção de tecnologias digitais identificados por Bolfe et al. (2020a) são: valor do investimento necessário (67,1%), ausência de conectividade (47,8%), valor da contratação de prestadores especializados (44%), falta de conhecimento sobre quais tecnologias utilizar (40%). Um aspecto interessante que dificulta a adoção das novas tecnologias digitais, identificado por Bolfe et al. (2020a), é a pequena “fluência tecnológica” tanto de vendedores quanto de compradores – estes últimos não compreendendo as capacidades completas dos produtos e serviços ofertados, indicando a necessidade de melhoria do processo de vendas técnicas. Da mesma forma, fica clara a relevância da capacitação profissional em agricultura digital tanto para equipes empresariais quanto para produtores agropecuários.

Influência do ecossistema no processo de digitalização da agropecuária

O estudo de Bambini (2021) analisou os fatores que direcionam a transformação da agropecuária, tendo identificado direcionadores da TDC. O estudo evidenciou: um grupo de condições básicas e essenciais para a TDC, mas não suficientes; e um conjunto de fatores contribuintes que promovem a evolução do processo de digitalização, uma vez que as condições básicas estejam instaladas.

As condições básicas envolvem: condições básicas de vida no País; nível de desenvolvimento atual do capital humano no País; infraestrutura digital disponível e acesso financeiro; políticas públicas de infraestrutura; e regulação e incentivos para agricultura digital (Trendov et al., 2019; Schroeder et al., 2021).

Os fatores contribuintes ou habilitadores para TDC envolvem o fortalecimento do ecossistema de inovação agrícola (Bambini, 2021), referindo-se a:

- Adoção e promoção de tecnologias digitais, envolvendo o acesso financeiro a smartphones, serviços de internet de qualidade, assim como serviços públicos de *cloud*, disponibilidade de dados abertos, plataformas digitais e sistemas de pagamento digital (Trendov et al., 2019; Cisco, 2020; Ziegler et al., 2020; Schroeder et al., 2021).
- Desenvolvimento de habilidades digitais e fortalecimento dos talentos digitais (Schroeder et al., 2021).
- Facilidade e confiabilidade para fazer negócios (Cisco, 2020).
- Investimento: privado, governamental, internacional, liberdade de investir (Cisco, 2020).

- Promoção de uma cultura de inovação e fomento do empreendedorismo Agtech, envolvendo: fortalecimento de ambientes de inovação, disponibilidade de investimento de *venture capital*, sistema de propriedade intelectual e existência de densidade de novos negócios (Trendov et al., 2019; Cisco, 2020; Schroeder et al., 2021).

Um ecossistema de inovação agrícola efetivo permite que empreendedores, grandes empresas, universidades e institutos de pesquisa, investidores e órgãos do governo promovam interações de forma eficiente para gerar resultados relevantes, estruturando-se por meio de uma cultura de inovação baseada em interações, e abertura a oportunidades externas e à mudança (Bambini, 2021). Schroeder et al. (2021) ressaltam que tanto o governo quanto a iniciativa privada necessitam colaborar para fortalecer o ecossistema de inovação agrícola e disseminar soluções digitais para a agropecuária.

Ao mesmo tempo em que a digitalização influencia as características da dinâmica inovativa do ecossistema de inovação agrícola, o fortalecimento e desenvolvimento dos elementos desse ecossistema também contribui para incentivar a digitalização do setor, em um movimento de retroalimentação. A metáfora do ecossistema ecológico, aplicada aos processos de inovação digital na agropecuária, representa, de forma interessante, os inter-relacionamentos estabelecidos entre os atores (tradicionais e novos) que se envolvem em processos de cooperação, competição, adaptação e suporte mútuo nesse novo contexto.

O ecossistema de inovação agrícola é considerado um sistema dinâmico e em evolução, tendo em vista a perspectiva de desenvolvimento e adoção de tecnologias mais sofisticadas e oferta de serviços mais eficientes de conectividade no campo, em direção a práticas mais responsáveis e sustentáveis, conforme descreve a literatura acadêmica em relação ao paradigma da Agricultura 5.0 (Polymeni et al., 2023). Os atores envolvidos nesse ecossistema sofrerão novas adaptações tendo em vista as várias dimensões desse processo de mudança – não apenas a questão tecnológica, mas também econômica, ambiental e social.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E ESTUDOS FUTUROS

Este artigo apresentou uma descrição das recentes transformações tecnológicas digitais e sua influência na dinâmica inovativa do setor agropecuário, considerando o paradigma de uma Agricultura 4.0. A pesquisa, conduzida por um estudo exploratório, ofereceu uma visão ampla do ecossistema de inovação agrícola digital, por meio do mapeamento dos atores interessados e seus relacionamentos e objetivos.

Pode-se dizer que o movimento da digitalização vem influenciando distintamente os vários atores do setor agropecuário. Os produtores agropecuários, ainda que já tivessem alguma adoção de tecnologias digitais em 2017, conforme os estudos analisados, aumentaram em muito as suas atividades digitais, especialmente em atividades de gestão da propriedade, aquisição de insumos e comercialização da produção. Existem ainda vários empecilhos à adoção de tecnologias digitais na produção – como custo considerado elevado, falta de habilidades digitais e ausência de cobertura de conectividade em algumas localidades. Porém, as perspectivas de evolução da digitalização do setor são positivas, com a promessa de ampliação da infraestrutura de rede e a sucessão para novas gerações que administrarão as propriedades rurais, mais afeitas ao movimento digital e tecnológico no campo.

Tendo em vista a expectativa de crescimento da adoção de tecnologias digitais nos vários elos das cadeias produtivas da agropecuária, novos atores foram atraídos para o setor, interessados nas oportunidades oferecidas. Alguns exemplos são as grandes empresas de tecnologia de informação e telecomunicações, empresas nascentes de base tecnológica agropecuária (Agtechs e Foodtechs) e vários organismos de fomento ao empreendedorismo e inovação.

As grandes corporações tradicionais do setor agropecuário, já estabelecidas nos segmentos de insumos e equipamentos, vêm buscando reinventar-se a fim de também aproveitar as oportunidades digitais. Esse movimento de reinvenção envolve a criação de uma oferta de produtos e serviços digitais criados em colaboração com os novos atores que ingressam nesse ecossistema. A grande maioria dessa nova oferta digital no campo está estruturada por serviços embasados por grandes quantidades de dados e novos modelos de negócios. A interação entre grandes corporações e startups envolve colaborações técnicas, investimentos e, em muitos casos, aquisições. Esse movimento de fusões e aquisições entre grandes empresas e com startups acaba por provocar uma concentração do mercado em poucos *players*.

Ainda que a digitalização da agropecuária seja, em grande medida, conduzida por ações da iniciativa privada, os governos nacionais possuem um papel-chave, ao proverem infraestrutura e políticas públicas para criar um ambiente favorável para essa transformação. Entre as ações de infraestrutura e tecnologia, temos: estrutura de conectividade; incentivo ao desenvolvimento de competências digitais; coordenação da distribuição de benefícios digitais entre os diversos atores; e fornecimento de regulação que garanta o cumprimento de preceitos éticos e sustentáveis, garantindo confiança em relação ao ambiente digital. Adicionalmente, programas públicos devem ser estabelecidos para fortalecer o ecossistema de inovação agrícola, preenchendo lacunas e resolvendo falhas de direcionamento, a fim de estimular a atividade dos atores e seus relacionamentos para inovação.

O ecossistema de inovação agrícola é um sistema dinâmico e em evolução. A perspectiva futura de uma quinta revolução agrícola, chamada Agricultura 5.0, que se fortalecerá a partir das próximas décadas do século XXI, imprimirá também suas marcas no ambiente inovativo, por meio de novas características. Em termos tecnológicos, existe uma expectativa de que tecnologias digitais sofisticadas – como inteligência artificial e aprendizado de máquina, robótica, equipamentos e veículos autônomos e/ou não tripulados e visão computacional – passem a ser amplamente utilizadas no campo, com a coleta, análise e processamento de grandes volumes de dados.

Outras tendências relacionadas à transição de uma Agricultura 4.0 para o paradigma 5.0 envolvem: i) a necessidade de que profissionais que atuam na produção agropecuária sejam cada vez mais capacitados a utilizar tecnologias digitais; ii) a demanda futura por infraestrutura de conectividade de qualidade disponível no campo (com custos acessíveis); iii) um movimento de inclusão digital dos pequenos produtores de forma que consigam ser competitivos nesse novo cenário; iv) a digitalização e atualização dos serviços de extensão rural públicos e privados; e v) o constante investimento em pesquisa agrícola de ponta, interdisciplinar.

Os atores envolvidos no ecossistema de inovação agrícola sofrerão, também, novas adaptações nos seguintes âmbitos: econômico (a fim de explorar as novas oportunidades que se apresentarão); ambiental (na promoção de sustentabilidade e preservação dos recursos ambientais); e social, tendo em vista novos relacionamentos a serem estabelecidos, movimentos de formação e capacitação tecnológica, assim como disseminação de novos conhecimentos e tecnologias entre os produtores.

Esta pesquisa apresentou algumas limitações ao analisar, de forma mais detalhada, os relatórios de organismos internacionais, ainda que especializados na temática, e, em menor escala, ao investigar a revisão de literatura de forma narrativa. Sugere-se, como estudo futuro, uma revisão de literatura sistemática a fim de identificar as diretrizes de transformação do paradigma da Agricultura 4.0 para 5.0 e sua influência na dinâmica da inovação agropecuária. Adicionalmente, considera-se relevante a condução de pesquisas empíricas sobre casos nacionais e/ou locais de ecossistemas de inovação agrícola digital com o objetivo de estudar a evolução da dinâmica inovativa em diferentes contextos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos gestores e à equipe da Embrapa, em especial da Embrapa Agricultura Digital, pela incorporação ao programa de pós-graduação da Empresa e pelo apoio recebido durante o período de pós-graduação.

REFERÊNCIAS

- ABMRA. Associação Brasileira de Marketing Rural e Agronegócio. **7ª Pesquisa Hábitos do Produtor Rural**. São Paulo: ABMRA, 2017. 38p. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/VeronicaRRSouza/pesquisa-hbitos-do-produtor-rural-2017-abmra>>. Acesso em: 2 jun. 2017.
- AGFUNDER. **AgFunder AgriFoodTech Investment Report 2021**. 2021. Disponível em: <<https://research.agfunder.com/2021/2021-agfunder-global-report.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2023.
- AGFUNDER. **AgFunder Global AgriFoodTech Investment Report 2023**. 2023. Disponível em: <<https://agfunder.com/research/agfunder-global-agrifoodtech-investment-report-2023/>>. Acesso em: 15 maio 2023.
- AMARAL, G.F.; GUIMARÃES, D.D. Panoramas setoriais 2030: agropecuária. In: PANORAMAS Setoriais 2030: desafios e oportunidades para o Brasil. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2017. p.35-42. Disponível em: <<http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/14235>>. Acesso em: 11 jun. 2023.
- ANNOSI, M.C.; BRUNETTA, F. **How is Digitalization Affecting Agri-food?** New Business Models, Strategies and Organizational Forms. New York: Routledge, 2021.
- ARANHA, J.A.S. **Mecanismos de geração de empreendimentos: mudança na organização e na dinâmica dos ambientes e o surgimento de novos atores**. Brasília: Anprotec, 2016. 28p.
- ARAÚJO, S.O.; PERES, R.S.; BARATA, J.; LIDON, F.; RAMALHO, J.C. Characterising the agriculture 4.0 landscape: emerging trends, challenges and opportunities. *Agronomy*, v.11, art.667, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11040667>.
- BALASKA, V.; ADAMIDOU, Z.; VRYZAS, Z.; GASTERATOS, A. Sustainable crop protection via robotics and artificial intelligence solutions. *Machines*, v.11, art.774, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/machines11080774>.
- BALSADI, O.V. Escassez e elevação do custo da mão de obra. In: EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Plataforma Visão de futuro do Agro**. 2022. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/visao-de-futuro/intensificacao-tecnologica-e-concentracao-da-producao/sinal-e-tendencia/escassez-e-elevacao-do-custo-da-mao-de-obra>>. Acesso em: 5 maio 2023.
- BAMBINI, M.D. **Transformação digital do campo: contribuição dos ecossistemas de inovação agrícola e das agtechs no Estado de São Paulo**. 2021. 257p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- BAYER. **Climate FieldView**. Disponível em: <<https://climatefieldview.com.br/preco/>>. Acesso em: 22 jun. 2023.
- BOLFE, E.; JORGE, L.; SANCHES, I.; COSTA, C.; LUCHIARI JR, A.; VICTORIA, D.; INAMASU, R.; GREGO, C.; FERREIRA, V.; RAMIREZ, A. **Agricultura digital no Brasil: tendências, desafios e oportunidades: resultados de pesquisa online**. Campinas: Embrapa, 2020a. 44p.
- BOLFE, E.L.; JORGE, L.A. de C.; SANCHES, I.D.A.; LUCHIARI JÚNIOR, A.; COSTA, C.C. da; VICTORIA, D. de C.; INAMASU, R.Y.; GREGO, C.R.; FERREIRA, V.R.; RAMIREZ, A.R. Precision and Digital Agriculture: Adoption of Technologies and Perception of Brazilian Farmers. *Agriculture*, v.10, art.653, 2020b. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture10120653>.
- BONACELLI, M.B.M.; FUCK, M.P.; CASTRO, A.C. O Sistema de Inovação Agrícola: Instituições, competências e desafios do contexto brasileiro. In: BUAINAIN, A.M.; BONACELLI, M.B.M.; MENDES, C.I.C. (Org.). **Propriedade intelectual e inovações na agricultura**. Rio de Janeiro: INCT, 2015. p.89-109.
- BURWOOD-TAYLOR, L. Monsanto's Climate Corp Makes First Foray into Europe with VitalFields Acquisition. *AgfunderNews*, 21 nov. 2016.
- CHESBROUGH, H. The Era of Open innovation. *MIT Sloan Management Review*, v.44, p.35-41, 2003.
- CISCO. Cisco Global Digital Readiness Index 2019. **White Paper Cisco Public**, 2020. 16p. Disponível em: <https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/csr/reports/global-digital-readiness-index.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2020.
- CONCEPCION, R.; RAMIREZ, T.J.; ALEJANDRINO, J.; JANAIRO, A.G.; BAUN, J.J.; FRANCISCO, K.R.; RELANO, J.; ENRIQUEZ, M.L.; BAUTISTA, M.G.; VICERRA, R.R.; BANDALA, A.; IZZO, L.G. A Look at the near future: industry 5.0 boosts the potential of sustainable space agriculture. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANOID, NANOTECHNOLOGY, INFORMATION TECHNOLOGY, COMMUNICATION AND CONTROL, ENVIRONMENT, AND MANAGEMENT (HNICEM), 14., 2022, Boracay Island. **Proceedings**. Boracay: IEEE, 2022. p.1-6. DOI: <https://doi.org/10.1109/HNICEM57413.2022.10109559>.
- CONNOLLY, A. Digital agriculture. *Research World*, v.72, p.34-36, 2018.
- COOKE, P.; URANGA, M.G.; ETXEBARRIA, G. Regional innovation systems: Institutional and organisational dimensions. *Research Policy*, v.26, p.475-491, 1997. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(97\)00025-5](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(97)00025-5).
- DE LA PARTE, M.S.E.; MARTÍNEZ-ORTEGA, J.F.; CASTILLEJO, P.; LUCAS-MARTÍNEZ, N. Spatio-temporal semantic data management systems for IoT in agriculture 5.0: Challenges and future directions. *Internet of Things*, v.25, art.101030, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.101030>.
- DUTTA, S.; LANVIN, B.; WUNSCH-VINCENT, S. (Ed.). **The Global Innovation Index 2017: Innovation Feeding the World**. 10th ed. Ithaca: Cornell University: Insead: Wipo, 2017.

- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Visão de futuro do agro brasileiro**. 2022. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/visao-de-futuro>>. Acesso em: 23 fev. 2024.
- FACEBOOK e Baita anunciam programa de aceleração para Agtechs. **StartAgro**, 28 set. 2020. Disponível em: <<http://www.startagro.agr.br/facebook-e-baita-anunciam-programa-de-aceleracao-para-agtechs/>>. Acesso em: 24 abr. 2021.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Global food security challenges and its drivers**. Rome, 2023. 15p. Disponível em: <www.fao.org>. Acesso em: 15 jan. 2024.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Strategic Framework 2022-31**. Rome, 2021. 38p. Disponível em: <<https://www.fao.org/3/cb7099en/cb7099en.pdf>>. Acesso em: 11 jun. 2023.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The future of food and agriculture: drivers and triggers for transformation**. Rome, 2022. (The Future of Food and Agriculture, n.3). DOI: <https://doi.org/10.4060/cc0959en>.
- FAURE, G.; CHIFFOLEAU, Y.; GOULET, F.; TEMPLE, L.; TOUZARD, J. M. **Innovation and development in agricultural and food systems**. Versailles: Éditions Quæ, 2018. 346p.
- FIELKE, S.J.; GARRARD, R.; JAKKU, E.; FLEMING, A.; WISEMAN, L.; TAYLOR, B.M. Conceptualising the DAIS: Implications of the ‘Digitalisation of Agricultural Innovation Systems’ on technology and policy at multiple levels. **NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences**, v.90-91, p.1-11, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.04.002>.
- FRANÇA, R. de S.; ZIVIANI, F.; MUYLDER, C.F. de. Agricultural digitalisation and digital transformation: the future of agricultural competitive excellence in the 4.0. **Brazilian Journal of Development**, v.6, p.7240-7260, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n2-140>.
- FRANK, A.G.; AYALA, N.F.; BENITEZ, G.B.; MARCON, É.; LERMAN, L.V. **Profissões emergentes na era digital: oportunidades e desafios na qualificação profissional para uma recuperação verde: panorama do Brasil**. Brasília: CNI: Senai, 2021.
- FRASER, E.D.G.; CAMPBELL, M. Agriculture 5.0: reconciling production with planetary health. **One Earth**, v.1, p.278-280, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.022>.
- FUGLIE, K.; GAUTAM, M.; GOYAL, A.; MALONEY, W.F. **Harvesting Prosperity: Technology and Productivity Growth in Agriculture**. Washington: World Bank, 2020. 231p.
- GASQUES, J.G.; BASTOS, E.T.; BACCHI, M.R.P.; VIEIRA FILHO, J.E.R. **Produtividade total dos fatores na agricultura: Brasil e países selecionados**. Brasília: Ipea, 2022. 20p. (IPEA. Texto para discussão, 2764).
- GIL, A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 2008. 220p.
- HALL, A.; MYTELKA, L.; OYEYINKA, B. Innovation systems: implications for agricultural policy and practice. **ILAC Brief**, v.2, p.1-4, 2005. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/10568/70179>>. Acesso em: 11 jun. 2023.
- HININGS, B.; GEGENHUBER, T.; GREENWOOD, R. Digital innovation and transformation: An institutional perspective. **Information and Organization**, v.28, p.52-61, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.infoandorg.2018.02.004>.
- JAFARI, A.; STAMOULIS, K. **Agri-food systems and COVID-19: Analysis of policy responses in countries with food crisis situations (2020-2021)**. Rome: FAO, 2022. 51p. DOI: <https://doi.org/10.4060/cb8608en>.
- JUWONO, F.H.; WONG, W.K.; VERMA, S.; SHEKHAWAT, N.; LEASE, B.A.; APRIONO, C. Machine learning for weed-plant discrimination in agriculture 5.0: An in-depth review. **Artificial Intelligence in Agriculture**, v.10, p.13-25, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2023.09.002>.
- KALAITZANDONAKES, N.; ZHRINGER, K.A. Structural Change and Innovation in the Global Agricultural Input Sector. In: KALAITZANDONAKES, N.; CARAYANNIS, E.G.; GRIGOROUDIS, E.; ROZAKIS, S. (Ed.). **From Agriscience to Agribusiness: Theories, Policies and Practices in Technology Transfer and Commercialization**. Cham: Springer International Publishing, 2018. p.75-99.
- KLERKX, L.; ROSE, D. Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways? **Global Food Security**, v.24, art.100347, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100347>.
- KOSIOR, K. Digital transformation in the agri-food sector—opportunities and challenges. **Roczniki Naukowe SERiA**, v.20, p.98-104, 2018.
- MALERBA, F. Sectoral systems of innovation and production. **Research Policy**, v.31, p.247-264, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(01\)00139-1](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(01)00139-1).
- MANYIKA, J.; RAMASWAMY, S.; KHANNA, S.; SARRAZIN, H.; PINKUS, G.; SETHUPATHY, G.; YAFFE, A. **Digital America: A tale of the haves and have-mores**. [London]: McKinsey Global Institute, 2015. 107p. Disponível em: <<https://integral.ms/wp-content/uploads/2018/06/Digital-America-Full-Report-December-2015.pdf>>. Acesso em: 22 jun. 2023.
- MARSHAL. Como a John Deere planeja construir um mundo de agricultura totalmente autônoma até 2030. **Indústria S.A.: Portal da Indústria Brasileira**, 3 out. 2022. Disponível em: <<https://industriasa.com.br/como-a-john-deere-planeja-construir-um-mundo-de-agricultura-totalmente-autonoma-ate-2030/>>. Acesso em: 22 jun. 2023.

- MCFADDEN, J.; CASALINI, F.; GRIFFIN, T.; ANTÓN, J. The digitalisation of agriculture: a literature review and emerging policy issues. **OECD Food, Agriculture and Fisheries Paper**, v.176, Apr. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1787/285cc27d-en>.
- MCKINSEY & COMPANY. **A mente do agricultor brasileiro na era digital**. [Rio de Janeiro], 2021. 22p.
- MESÍAS-RUIZ, G.A.; PÉREZ-ORTIZ, M.; DORADO, J.; CASTRO, A.I. de; PEÑA, J.M. Boosting precision crop protection towards agriculture 5.0 via machine learning and emerging technologies: A contextual review. **Frontiers in Plant Science**, v.14, art.1143326, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1143326>.
- NELSON, R.R. (Ed.) **National Innovation Systems: A Comparative Analysis**. New York: Oxford University Press, 1993. 541p.
- OECD. Organization for Economic Co-operation and Development. **Going Digital: Shaping Policies, Improving Lives**. Paris, 2019. 168p.
- OECD. Organization for Economic Co-operation and Development. **How digital technologies are impacting the way we grow and distribute food**. Paris, 2018a. Global Forum on Agriculture 2018 “Digital technologies in food and agriculture: reaping the benefits”. Disponível em: <[https://one.oecd.org/document/TAD/CA/GF\(2018\)1/En/pdf](https://one.oecd.org/document/TAD/CA/GF(2018)1/En/pdf)>. Acesso em: 11 jun. 2023.
- OECD. Organization for Economic Co-operation and Development. **Making Better Policies for Food Systems**. Paris, 2021. 279p.
- OECD. Organization for Economic Co-operation and Development. **Oslo Manual 2018: guidelines for collecting, reporting and using data on innovation**. 4th ed. Paris: OECD Publishing; Luxembourg: Eurostat, 2018b. DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>.
- PAUNOV, C.; PLANES-SATORRA, S. How are digital technologies changing innovation? Evidence from agriculture, the automotive industry and retail. **OECD Science, Technology and Industry Policy Papers**, v.74, 2019. 53p. DOI: <https://doi.org/10.1787/67bbcafe-en>.
- PIGFORD, A.A.E.; HICKEY, G.M.; KLERKX, L. Beyond agricultural innovation systems? Exploring an agricultural innovation ecosystems approach for niche design and development in sustainability transitions. **Agricultural Systems**, v.164, p.116-121, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.04.007>.
- POLYMENI, S.; PLASTRAS, S.; SKOUTAS, D.N.; KORMENTZAS, G.; SKIANIS, C. The Impact of 6G-IoT Technologies on the Development of Agriculture 5.0: A Review. **Electronics**, v.12, art.2651, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics12122651>.
- RAJALAHTI, R. Sourcebook Overview and User Guide. In: WORLD BANK. **Agricultural Innovation Systems: An Investment Sourcebook**. Washington: World Bank, 2012. p.1-13.
- RIBEIRO, N.M.; SOUZA, C.R.B. de; FREITAS, A.E.S. (Org.). **Ecosistemas de inovação: análise para além das fronteiras**. Salvador: Ed. da IFBA, 2019. 273p.
- ROBERTSON, M.; MOORE, A.; HENRY, D.; BARRY, S. **Digital agriculture: what’s all the fuss about?** 2018. Disponível em: <<https://blog.csiro.au/wp-content/uploads/2018/03/CSIROs-digital-agriculture-essay.pdf>>. Acesso em: 11 jun. 2023.
- SALLES-FILHO, S.; PEDRO, E.; MENDES, P.J.V. **Concepts, policy elements, and regional strategies for the development of institutional innovation**. San José: IICA; Foragro; Gifar, 2007. 78p.
- SCHROEDER, K.; LAMPIETTI, J.; ELABED, G. **What’s Cooking: Digital Transformation of the Agrifood System**. Washington: World Bank, 2021. 229p.
- SCHWAB, K. **The fourth industrial revolution**. Cologne: World Economic Forum, 2016. 171p.
- SEBRAE. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Tecnologia da Informação no Agronegócio: produtor rural**. Brasília, 2017. 26p. Disponível em: <<https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Pesquisa%20SEBRAE%20-%20TIC%20no%20Agro.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2020.
- SELLTIZ, C.; JAHODA, M.; DEUTSCH, M.; COOK, S.W. **Pesquisa nas relações sociais**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1975.
- STRAETE, E.P.; VIK, J.; FUGLESTAD, E.M.; GJEFSSEN, M.D.; MELÅS, A.M.; SØRAA, R.A. Critical support for different stages of innovation in agriculture: What, when, how? **Agricultural Systems**, v.203, art.103526, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103526>.
- SUOMINEN, A.; SEPPÄNEN, M.; DEDEHAYIR, O. A bibliometric review on innovation systems and ecosystems: a research agenda. **European Journal of Innovation Management**, v.22, p.335-360, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1108/EJIM-12-2017-0188>.
- TENG, P. **Knowledge intensive agriculture: the new disruptor in world food?** Singapore: Nanyang Technological University, 2017. 3p. (RIS commentary, n.124).
- TRENDOV, N.M.; VARAS, S.; ZENG, M. **Digital Technologies in Agriculture and Rural Areas: Status Report**. Rome: FAO, 2019. 141p.
- UNCTAD. United Nations Conference on Trade and Development. **Digital Economy Report 2019: Value Creation and Capture: Implications for Developing Countries**. New York: United Nations Publications, 2019. 172p.

UNDERWOOD, A. IFPRI and CGIAR at Borlaug Dialogue 2023: Food system repercussions of the Russia-Ukraine war. **IFPRI Blog**, 14 dez. 2023. Disponível em: <<https://www.ifpri.org/blog/ifpri-and-cgiar-borlaug-dialogue-2023-food-system-repercussions-russia-ukraine-war>>. Acesso em: 9 abr. 2024.

UNFPA. United Nations Population Fund. **State of World Population report 2023**. New York, 2023. Disponível em: <<https://www.unfpa.org/sites/default/files/swop23/SWOP2023-ENGLISH-230329-web.pdf>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

VAN ES, H.; WOODARD, J. Innovation in agriculture and food systems in the digital age. In: DUTTA, S.; LANVIN, B.; WUNSCH-VINCENT, S. (Ed.). **The Global Innovation Index 2017: Innovation Feeding the World**. 10th ed. Ithaca: Cornell University: Insead: Wipo, 2017. p.99.

VIEIRA FILHO, J.E.R.; FISHLOW, A. **Agricultura e indústria no Brasil: inovação e competitividade**. Brasília: Ipea, 2017. 305p.

VON VELTHEIM, F.R.; HEISE, H. The AgTech Startup Perspective to Farmers Ex Ante Acceptance Process of Autonomous Field Robots. **Sustainability**, v.12, art.10570, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su122410570>.

WALTZ, E. Digital farming attracts cash to agtech startups. **Nature Biotechnology**, v.35, p.397-398, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/nbt0517-397>.

WORLD BANK. International Bank for Reconstruction and Development. **Future of Food: Harnessing Digital Technologies to Improve Food System Outcomes**. Washington: World Bank Group, 2019. 40p. DOI: <https://doi.org/10.1596/31565>.

ZIEGLER, S.; SEGURA, J.A.; BOSIO, M.; CAMACHO, K. **Conectividad Rural En América Latina y El Caribe**. San José: IICA: BID: Microsoft, 2020. 119p.