

Desafios e oportunidades da agricultura digital na promoção da sustentabilidade e da inclusão social entre os pequenos produtores no Brasil

Geraldo Antônio da Cruz Neto

Mestrando em Direito do Agronegócio e Desenvolvimento

Instituição: Universidade de Rio Verde

E-mail: geraldacruz@unirv.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-8102-1289>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3215741296289502>

Carolina Merida

Doutora

Instituição: Universidade de Rio Verde

E-mail: merida@unirv.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5546-5660>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4407767690530183>

Murilo Couto Lacerda

Doutor

Instituição: Universidade de Rio Verde

E-mail: murilo.couto@unirv.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4484-0899>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9851155183694726>

Rejaine Silva Guimarães

Doutora

Instituição: Universidade de Rio Verde

E-mail: rejaine@unirv.edu.br

Orcid: 0000-0003-3264-4233

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2926559239072928>

Patrícia Spagnolo Parise Costa

Doutora

Instituição: Universidade de Rio Verde

E-mail: parise@unirv.edu.br

Orcid: 0000-0002-2427-4933

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0855847967155495>

Línia Dayana Lopes Machado

Doutora

Instituição: Universidade de Rio Verde

E-mail: liniadayana@yahoo.com.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4346-824X>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2642744874617998>

RESUMO

O artigo analisa como a agricultura digital ou agricultura inteligente pode, ao mesmo tempo, potencializar a sustentabilidade ambiental e promover inclusão social entre pequenos produtores rurais no Brasil. Discute-

se que tecnologias como sensores, IoT, big data e computação em nuvem permitem otimizar o uso de insumos, reduzir desperdícios, monitorar clima e elevar a produtividade com menor impacto ambiental. Contudo, evidencia-se que esses benefícios são desigualmente distribuídos, em razão da baixa conectividade no meio rural, do alto custo de equipamentos e das assimetrias regionais de renda e infraestrutura. Os dados do Censo Agro 2017 mostram que mais de 70% dos estabelecimentos não tinham acesso à internet, o que limita o uso de aplicativos de gestão, plataformas de comercialização e assistência técnica remota. Soma-se a isso o baixo nível de escolaridade e de alfabetização digital da maioria dos produtores, o que dificulta a apropriação das tecnologias. O trabalho também examina a agenda da agricultura inteligente para o clima (CSA), apontando seu potencial para integrar produtividade, adaptação climática e mitigação de emissões, mas alertando para o risco de exclusão de pequenos produtores quando políticas e programas privilegiam grandes empreendimentos. Conclui-se que a agricultura digital só se tornará vetor efetivo de sustentabilidade e inclusão se articulada a políticas robustas de conectividade, formação, extensão rural e participação social, orientadas por justiça socioambiental.

Palavras-chave: Agricultura Digital. Inclusão Social. Sustentabilidade. Produtor Rural. Pequeno Produtor.

1 INTRODUÇÃO

A intensificação da produção de alimentos nas últimas décadas tem se apoiado crescentemente em inovações tecnológicas capazes de elevar a produtividade, reduzir perdas e mitigar impactos ambientais. Nesse cenário, a chamada agricultura digital ou agricultura 4.0 desponta como um conjunto de soluções baseadas em sensores, internet das coisas (IoT), sistemas de posicionamento global, análise de dados em nuvem e automação, que prometem transformar profundamente as formas de produzir, gerir e comercializar no campo. Além de ampliar a eficiência no uso de insumos e recursos naturais, tais tecnologias são frequentemente apresentadas como instrumentos capazes de contribuir para a sustentabilidade ambiental e para a segurança alimentar, em consonância com a agenda global de enfrentamento das mudanças climáticas e de promoção do desenvolvimento sustentável.

No entanto, a difusão dessas tecnologias não ocorre em um vazio social. O campo brasileiro é marcado por fortes assimetrias de poder, concentração fundiária, desigualdades de renda e grandes disparidades no acesso à infraestrutura digital, especialmente no que se refere à conectividade de qualidade, à disponibilidade de equipamentos e à qualificação técnica dos produtores. Pequenos agricultores, comunidades tradicionais e grupos historicamente vulnerabilizados correm o risco de permanecer ou até aprofundar sua condição de marginalização se as políticas de digitalização forem pensadas apenas a partir da lógica de grandes players do agronegócio. Assim, a agricultura digital pode tanto abrir novas oportunidades de inclusão social por meio do acesso a informações, mercados e serviços quanto reforçar a exclusão existente, caso as barreiras estruturais não sejam adequadamente enfrentadas.

Diante desse contexto, coloca-se a questão central que orienta este estudo: quais são os principais desafios e oportunidades da agricultura digital na promoção simultânea da sustentabilidade ambiental e da inclusão social no campo brasileiro, especialmente no que se refere à realidade dos pequenos produtores?

Parte-se da hipótese de que as tecnologias digitais aplicadas à agricultura possuem efetivo potencial para otimizar o uso de recursos naturais, reduzir impactos ambientais e ampliar a segurança alimentar, ao mesmo tempo em que podem favorecer a inclusão de pequenos produtores em cadeias produtivas e em políticas públicas. Todavia, esse potencial permanece limitado por obstáculos estruturais, como a precariedade da infraestrutura de conexão, a baixa alfabetização digital, a insuficiente oferta de assistência técnica e extensão rural e o desenho fragmentado das políticas de inovação que tendem a concentrar os benefícios da agricultura digital nos segmentos mais capitalizados do agronegócio.

À luz desse problema, o objetivo geral deste artigo é identificar e analisar os principais desafios e oportunidades da agricultura digital na promoção da sustentabilidade e da inclusão social no campo brasileiro, com ênfase na situação de pequenos produtores com menor acesso à infraestrutura tecnológica. Especificamente, busca-se: (1) apresentar o conceito de agricultura digital e suas promessas em termos de eficiência produtiva e sustentabilidade; (2) discutir os entraves relacionados à infraestrutura digital, à qualificação profissional e às condições socioeconômicas no meio rural; e (3) examinar em que medida a agenda de agricultura inteligente para o clima pode ser apropriada como oportunidade de justiça socioambiental ou, ao contrário, reforçar assimetrias pré-existentes.

Metodologicamente, trata-se de uma pesquisa de caráter qualitativo, baseada em revisão bibliográfica e documental sobre agricultura digital, sustentabilidade, inclusão social e políticas públicas voltadas ao meio rural. Foram selecionados estudos e documentos que abordam, de forma articulada, a dimensão tecnológica, ambiental e social da digitalização da agricultura no contexto brasileiro do pequeno produtor, permitindo construir um quadro analítico sobre os riscos e potencialidades dessa transformação. A partir desse referencial, o artigo procura contribuir para o debate jurídico e interdisciplinar em torno da necessidade de políticas de inovação que considerem, de maneira explícita, a redução das desigualdades e a garantia de direitos no campo, para que a agricultura digital não se restrinja a um vetor de competitividade, mas se converta efetivamente em instrumento de sustentabilidade e inclusão social.

2 CONCEITO DE AGRICULTURA INTELIGENTE OU 4.0

A agricultura digital, também denominada agricultura inteligente ou agricultura 4.0, visa estabelecer uma rede integrada de informações por meio do desenvolvimento de softwares e hardwares avançados. Os sistemas agrícolas tendem a ser transformados em serviços baseados na internet, hospedados em servidores em nuvem, capazes de articular diferentes fluxos de dados e apoiar a tomada de decisão no ambiente produtivo.

Esses sistemas possibilitam a comunicação interna entre máquinas agrícolas, o controle de equipamentos móveis, a interoperabilidade de dados, a integração com sistemas geoespaciais abertos e a oferta de serviços de armazenamento e processamento de informações agrícolas. Os dados são coletados

por meio de sensores de Internet das Coisas (Internet of Things – IoT), drones, informações meteorológicas, imagens de satélite, indicadores econômicos e outras bases on-line (Melgar, 2018).

A chamada Quarta Revolução Industrial é caracterizada pela convergência de tecnologias como Internet das Coisas, computação em nuvem, internet das pessoas, internet dos serviços, manufatura aditiva, big data, sistemas ciberfísicos, segurança digital, automação, inteligência artificial, simulação e modelagem (Sordi; Vaz, 2021). Esse movimento repercute diretamente no campo, ao incorporar essas inovações aos sistemas de produção agrícola e redefinir a forma como se planeja, executa e monitora o uso do solo, dos insumos e da força de trabalho.

A agricultura inteligente, tal como hoje é compreendida, consolidou-se a partir de meados de 2010, com a evolução e a difusão de diversas tecnologias: redes de sensores, processamento de imagens de satélite, sistemas de tecnologia da informação baseados em nuvem, análise de big data, aplicativos móveis, máquinas e tratores autônomos, entre outros. Essas soluções passaram progressivamente a ser incorporadas aos maquinários e às rotinas produtivas nas propriedades rurais, permitindo um monitoramento mais preciso das atividades agrícolas e pecuárias (Melgar, 2018).

Nesse contexto, a agricultura inteligente integra tecnologias de informação e comunicação em máquinas, equipamentos e sensores empregados nos sistemas de produção agrícola. Tecnologias emergentes, como Internet das Coisas, big data e computação em nuvem, tendem a impulsionar esse avanço, introduzindo um maior número de robôs, algoritmos e sistemas de inteligência artificial na agricultura (Sordi; Vaz, 2021). Em tese, tais ferramentas podem contribuir para um uso mais racional de insumos, redução de desperdícios, aumento da produtividade e mitigação de impactos ambientais, compondo um importante vetor de sustentabilidade.

A transformação digital na agricultura, com a aplicação de tecnologias oriundas da Indústria 4.0, torna-se, assim, imprescindível para enfrentar desafios complexos, como produzir mais alimentos com menor utilização de recursos naturais e insumos. Abre-se um leque de oportunidades para otimizar o uso da água, fertilizantes e defensivos, melhorar a gestão de rebanhos e incrementar a eficiência de toda a cadeia produtiva, alcançando novos patamares de produtividade e sustentabilidade agrícola (Consoline, 2020).

No contexto brasileiro, Lopes e Contini (2012) ressaltam que a articulação entre agricultura, sustentabilidade e tecnologia exige reconhecer, simultaneamente, a centralidade econômica do setor e os limites ecológicos impostos pelos diferentes biomas. Os autores argumentam que a competitividade de longo prazo da agricultura brasileira depende de trajetórias tecnológicas capazes de elevar a produtividade e, ao mesmo tempo, reduzir a pressão sobre solo, água e biodiversidade, o que demanda políticas públicas e estratégias de inovação orientadas explicitamente por critérios de sustentabilidade.

Observa-se que a agricultura inteligente apresenta, entre suas principais vantagens: (1) aumento da quantidade de dados em tempo real sobre as culturas; (2) monitorização e controle remotos por parte dos

agricultores; (3) controle mais eficiente da água e de outros recursos naturais; (4) aprimoramento da gestão do gado; (5) avaliação mais precisa do solo e das culturas; e (6) incremento da produção agrícola (Mohamed et al., 2021). Esses benefícios, se adequadamente apropriados, podem fortalecer tanto grandes empreendimentos agroindustriais quanto unidades produtivas de menor escala.

Dessa forma, constata-se que o processo de transformação digital nas propriedades rurais não é mais uma opção, mas um caminho praticamente inevitável para tornar a agricultura brasileira mais competitiva e com maior agregação de valor (Bolfé, 2020). Entretanto, para que essa transformação contribua efetivamente para a inclusão social no campo, é necessário que as tecnologias digitais não se limitem às grandes empresas do agronegócio, alcançando também os pequenos produtores rurais, frequentemente localizados em territórios com menor infraestrutura e maior vulnerabilidade socioeconômica.

Quando acessíveis e acompanhadas de políticas públicas de conectividade, capacitação técnica e assistência especializada, as soluções de agricultura digital podem auxiliar pequenos produtores a reduzir custos, planejar melhor o uso de insumos, acessar informações de mercado e ampliar sua inserção em cadeias produtivas mais complexas.

Em contrapartida, a ausência dessas condições tende a concentrar os benefícios da agricultura inteligente nos segmentos mais capitalizados, aprofundando desigualdades e limitando o potencial da agricultura digital como instrumento de sustentabilidade e inclusão social. É justamente essa tensão entre oportunidades e riscos que será explorada nas seções seguintes, ao se examinarem os desafios de infraestrutura digital, qualificação profissional e justiça socioambiental no contexto brasileiro.

3 DESAFIOS POR INFRAESTRUTURA DIGITAL E QUALIFICAÇÃO PROFISSIONAL

Para que a agricultura inteligente (smart farming) se materialize nas propriedades rurais, o processamento e a transmissão de dados em tempo real são aspectos cruciais. A eficácia das tecnologias descritas na seção anterior depende diretamente da disponibilidade de conectividade e de uma infraestrutura digital mínima, condição sem a qual os benefícios associados à sustentabilidade e à inclusão social permanecem apenas em potencial (Sordi; Vaz, 2021). No entanto, persistem desafios significativos no campo brasileiro, notadamente a baixa cobertura de rede móvel em áreas rurais, a oferta limitada de internet de alta qualidade e o custo de acesso para produtores de menor renda.

Os modelos de agricultura inteligente requerem um conjunto mínimo de dispositivos físicos para coletar, armazenar e transmitir dados, que vão desde smartphones, tablets, sensores e atuadores até computadores, servidores e maquinário georreferenciado. Essa carência estrutural é particularmente evidente nas pequenas propriedades rurais. Embora se observe redução gradativa de custos e maior difusão de tecnologias digitais, muitos agricultores não dispõem do hardware necessário para incorporar plenamente essas práticas, em razão de restrições econômicas e financeiras (Sordi; Vaz, 2021). Como resultado, os

ganhos de eficiência e de uso racional de recursos naturais tendem a concentrar-se entre produtores mais capitalizados, reproduzindo desigualdades no acesso à inovação.

No contexto brasileiro, essa realidade é agravada pelos dados do Censo Agropecuário 2017¹, segundo o qual apenas 28% dos produtores declararam ter acesso à internet (1,43 milhão de produtores), sendo 659 mil via banda larga e 909 mil via internet móvel. Consequentemente, mais de 70% dos estabelecimentos rurais – cerca de 3,64 milhões de propriedades – não possuíam qualquer forma de conexão à época do levantamento (BRASIL, 2017).

Ao analisar os diferentes biomas brasileiros, Buainain et al. (2018) mostram que os desafios para uma agricultura sustentável não se restringem à adoção de novas tecnologias, mas envolvem profundas assimetrias regionais de renda, infraestrutura e acesso a políticas públicas. Os autores enfatizam que a transição para modelos produtivos mais sustentáveis exige reconhecer a heterogeneidade dos sistemas agrícolas, com atenção particular às condições dos pequenos produtores e agricultores familiares, que enfrentam restrições muito mais severas de crédito, assistência técnica e capacidade de investimento.

A ausência de conectividade limita o uso de aplicativos de gestão, plataformas de comercialização, sistemas de monitoramento climático e ferramentas de assistência técnica remota, restringindo justamente aqueles recursos que poderiam fortalecer a sustentabilidade produtiva e ampliar a inclusão social dos pequenos produtores nas cadeias agroindustriais.

A conectividade cumpre, assim, um papel estratégico na melhoria da assistência técnica, na oferta de educação à distância, no acesso a informações de mercado e na integração de máquinas e equipamentos agrícolas. Essas funções potencializam a redução de custos, o aumento da produtividade e a adoção de práticas de manejo mais eficientes e ambientalmente responsáveis. Relatórios recentes indicam que a infraestrutura de conexão e a interoperabilidade de dados figuram entre os principais desafios para integrar a agricultura brasileira à era 4.0 (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2020), impactando de forma mais intensa os segmentos de menor escala produtiva (Bolfé, 2020).

Além das deficiências na infraestrutura digital, a qualificação profissional constitui outro obstáculo central para a disseminação da agricultura digital. A implementação de tecnologias associadas à agricultura inteligente exige a capacitação de produtores, colaboradores, consultores, extensionistas e técnicos para lidar com novos modelos de produção baseados em dados e na digitalização de processos. Muitas dessas soluções demandam habilidades técnicas avançadas para operar interfaces, interpretar indicadores e tomar decisões a partir de painéis de monitoramento, o que contrasta com os níveis de escolaridade e de alfabetização digital ainda predominantes no meio rural brasileiro (Sordi; Vaz, 2021).

De acordo com o Censo Agropecuário 2017, entre aproximadamente cinco milhões de produtores

¹ Utiliza-se dados do Censo Agropecuário 2017, último levantamento censitário rural realizado pelo IBGE, que permanece como a fonte mais abrangente e atual de informações estruturais sobre os estabelecimentos agropecuários brasileiros.

agropecuários, 15% declararam nunca ter frequentado a escola, 14% alcançaram apenas o nível de alfabetização e 43% frequentaram, no máximo, o ensino fundamental. Em síntese, 73% dos produtores possuem, no máximo, o ensino fundamental concluído ou incompleto, sendo que 1,1 milhão (23%) declararam não saber ler nem escrever (IBGE, 2017). Esses dados evidenciam que a baixa escolaridade e a exclusão educacional constituem barreiras significativas à adoção de tecnologias digitais, sobretudo entre pequenos produtores e agricultores familiares.

Para que os agricultores possam usufruir integralmente do potencial da agricultura inteligente, torna-se indispensável o fortalecimento de serviços de consultoria e extensão rural com enfoque em competências digitais. Consultores, técnicos e especialistas precisam também desenvolver novas habilidades, uma vez que passarão a atuar em ambientes de serviços digitalizados e orientados por dados, desempenhando papel mediador entre as soluções tecnológicas e as necessidades concretas das comunidades rurais. As interações entre agricultores e agentes de extensão tendem a ser crescentemente mediadas por plataformas remotas, o que reforça a importância de políticas de inclusão digital específicas para o campo (Sordi; Vaz, 2021).

Diante desse quadro, a superação dos déficits de infraestrutura digital e de qualificação profissional deve ser compreendida como condição para que a agricultura digital se converta, de fato, em vetor de sustentabilidade e inclusão social no agronegócio brasileiro. A ação articulada do poder público e da iniciativa privada, por meio de investimentos em conectividade rural, programas de formação continuada e políticas de crédito orientadas aos pequenos produtores, é fundamental para evitar que a digitalização aprofunde assimetrias históricas. Somente com esse conjunto de iniciativas será possível democratizar o acesso às tecnologias e garantir que os benefícios da agricultura inteligente alcancem também os segmentos mais vulneráveis do campo.

4 AGRICULTURA INTELIGENTE PARA O CLIMA

A agricultura inteligente para o clima (Climate-Smart Agriculture – CSA) surgiu como abordagem voltada a aumentar a produtividade e a segurança alimentar, criar resiliência às mudanças climáticas e reduzir as emissões de gases de efeito estufa no setor agrícola (Chandra; Shmelev, 2017). Trata-se de um conceito relativamente recente, sistematizado e difundido pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) a partir de 2010, que busca articular, em uma mesma agenda, três objetivos centrais: (1) ampliar de forma sustentável a produção de alimentos; (2) fortalecer a capacidade de adaptação de sistemas agrícolas e comunidades rurais; e (3) mitigar os impactos ambientais da atividade agropecuária (Chandra; Shmelev, 2017).

Essa abordagem tem se materializado por meio da formulação de políticas públicas, programas de financiamento e práticas de manejo que combinam inovações tecnológicas, mudanças organizacionais e instrumentos econômicos. Nesse contexto, as tecnologias de agricultura digital como sensores, sistemas de

monitoramento climático, análise de dados em tempo real e plataformas de apoio à decisão e podem desempenhar papel estratégico ao possibilitar o uso mais eficiente de água, insumos e energia, bem como o acompanhamento de riscos climáticos em escala fina.

Assim, há uma interface direta entre a agenda de agricultura inteligente para o clima e as soluções de agricultura 4.0 discutidas nas seções anteriores, na medida em que ambas se apoiam em dados e conectividade para promover a sustentabilidade ambiental.

Contudo, a literatura crítica sobre o tema alerta para o risco de que a agricultura inteligente para o clima seja construída com foco excessivo em dimensões técnicas e produtivistas, subestimando os processos sociopolíticos que organizam o acesso à terra, à água, ao crédito e às tecnologias. Chandra e Shmelev (2017) destacam que, em diversos contextos, os programas de CSA tendem a marginalizar grupos vulneráveis, como pequenos agricultores e comunidades tradicionais, ao não incorporarem de forma adequada suas demandas, saberes e condições materiais. Frequentemente, os direitos à terra e à água, as relações de poder e as injustiças sociais são enquadrados de modo apolítico ou simplesmente ausentes dos objetivos oficiais de políticas de clima e agricultura, mesmo quando se afirma buscar o fortalecimento da segurança alimentar.

Essa crítica torna-se particularmente relevante quando se observa que muitas iniciativas de agricultura inteligente para o clima são financiadas ou influenciadas por organismos internacionais, grandes empresas e fundos de investimento, cujas prioridades nem sempre coincidem com as necessidades dos pequenos produtores. Políticas de crédito, empréstimos e subsídios, assim como instrumentos de mercado a exemplo de programas de redução de emissões e de certificação de carbono podem, se mal desenhados, favorecer predominantemente produtores de maior escala, deixando de fora agricultores familiares, povos indígenas e comunidades camponesas (Chandra e Shmelev, 2017). Em tais casos, a CSA corre o risco de reforçar assimetrias históricas, concentrando benefícios econômicos e tecnológicos em grupos já privilegiados e ampliando a exclusão social no campo.

Por outro lado, a própria agenda de agricultura inteligente para o clima oferece uma janela de oportunidade para reposicionar as preocupações de milhões de pequenos produtores – homens e mulheres – que vivem em áreas de alto risco climático e estão privados de justiça e igualdade. Em vez de reproduzir ciclos de marginalização, é possível conceber a CSA sob uma perspectiva baseada em direitos, na qual o enfrentamento das mudanças climáticas seja articulado ao reconhecimento de direitos humanos, à democratização do acesso a tecnologias digitais e ao fortalecimento da participação social na formulação de políticas públicas (Chandra e Shmelev, 2017).

Nesse sentido, uma das alternativas consiste em desenvolver e difundir práticas de agricultura inteligente para o clima que incorporem tecnologias digitais como instrumentos de empoderamento e não apenas de controle, criando estruturas inclusivas que promovam a participação direta de pequenos produtores, organizações de base e movimentos sociais rurais. Isso implica, por exemplo, disponibilizar

plataformas de monitoramento climático acessíveis em linguagens e interfaces compreensíveis, garantir conectividade em territórios vulneráveis, apoiar redes de cooperativas que utilizem dados para negociar melhores condições de comercialização e incluir agricultores familiares em programas de pagamento por serviços ambientais e de adaptação climática.

Em estudo de caso sobre a implementação da agricultura digital no agronegócio brasileiro, Manfredo Neto (2023) evidencia que a adoção de tecnologias associadas à agricultura 4.0 depende não apenas da disponibilidade de equipamentos e conectividade, mas também de arranjos de gestão, governança e capacitação das equipes envolvidas. O autor demonstra que os resultados esperados em termos de eficiência e sustentabilidade tendem a ser mais robustos quando a introdução de ferramentas digitais é planejada de forma integrada, considerando a realidade dos diferentes perfis de produtores, inclusive os de menor escala, e incorporando mecanismos de acompanhamento e avaliação contínua.

Dessa forma, as práticas agrícolas “inteligentes” e os investimentos científicos podem ser orientados para mudanças mais profundas, otimizando benefícios econômicos, sociais e ambientais, sem perder de vista a inclusão social como eixo estruturante. Articulada às discussões sobre infraestrutura digital e qualificação profissional apresentadas na seção anterior, a agricultura inteligente para o clima só se converterá em instrumento efetivo de justiça socioambiental se suas políticas e projetos forem desenhados de modo a reduzir desigualdades, garantir direitos e ampliar a voz dos pequenos produtores na governança do clima e do desenvolvimento rural.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo teve como objetivo **identificar e analisar os principais desafios e oportunidades da agricultura digital na promoção da sustentabilidade e da inclusão social entre pequenos produtores no Brasil**, a partir de uma revisão bibliográfica e documental sobre agricultura 4.0, infraestrutura digital, qualificação profissional e agricultura inteligente para o clima.

Partiu-se da hipótese de que as tecnologias digitais possuem efetivo potencial para otimizar o uso de recursos naturais, reduzir impactos ambientais e ampliar a segurança alimentar, ao mesmo tempo em que poderiam favorecer a inclusão de pequenos produtores em cadeias produtivas e políticas públicas, desde que acompanhadas de condições materiais e institucionais adequadas.

A análise das contribuições sobre **agricultura digital ou agricultura 4.0** evidenciou um amplo conjunto de **oportunidades** relacionadas ao uso de sensores, Internet das Coisas, computação em nuvem, big data e sistemas de apoio à decisão. Essas tecnologias permitem monitorar culturas, solos, rebanhos e condições climáticas em tempo real, contribuindo para o uso mais racional de insumos, a redução de desperdícios, o aumento da produtividade e a mitigação de impactos ambientais, configurando um importante vetor de **sustentabilidade**.

Entretanto, os resultados também demonstram que tais oportunidades não se distribuem de forma homogênea no campo brasileiro. A **baixa cobertura de internet**, a oferta limitada de serviços de banda larga e o alto custo de equipamentos digitais constituem barreiras relevantes, sobretudo para pequenos produtores e agricultores familiares. Mais de 70% dos estabelecimentos rurais não dispunham de qualquer forma de conexão à internet no Censo Agro 2017, o que restringe o uso de aplicativos de gestão, plataformas de comercialização, sistemas de monitoramento climático e ferramentas de assistência técnica remota.

A esse quadro somam-se os desafios de **qualificação profissional**. Os dados do Censo Agro indicam que a maioria dos produtores possui, no máximo, o ensino fundamental e uma parcela expressiva declara não saber ler nem escrever, o que evidencia a magnitude das barreiras educacionais para a adoção de tecnologias digitais baseadas em dados.

Assim, a agricultura inteligente tende a ser apropriada prioritariamente por segmentos mais capitalizados do agronegócio, reproduzindo desigualdades de acesso à inovação e limitando o potencial de **inclusão social** associado à digitalização.

No campo das políticas climáticas, a agenda de **agricultura inteligente para o clima** (Climate-Smart Agriculture – CSA) reforça tanto as promessas quanto as tensões da digitalização. De um lado, a CSA busca articular aumento de produtividade, adaptação às mudanças climáticas e redução de emissões, sendo apoiada por tecnologias digitais que viabilizam o monitoramento e a gestão mais eficiente dos sistemas produtivos. De outro, a literatura crítica alerta para o risco de que programas e instrumentos financeiros ligados à CSA favoreçam sobretudo grandes produtores, marginalizando pequenos agricultores, comunidades tradicionais e povos indígenas, quando não incorporam de forma adequada seus direitos, saberes e necessidades.

Diante desse conjunto de evidências, a **hipótese inicial é apenas parcialmente confirmada**. A agricultura digital e a agricultura inteligente para o clima, em si mesmas, não garantem sustentabilidade e inclusão social. Elas oferecem, de fato, um amplo leque de oportunidades, mas sua concretização depende de **escolhas políticas** e do desenho de instituições que enfrentem, de maneira explícita, as desigualdades de infraestrutura, renda, escolaridade e acesso a direitos que marcam o campo brasileiro. Sem essas condições, a digitalização tende a aprofundar assimetrias históricas, concentrando benefícios em grupos já privilegiados e ampliando a exclusão de pequenos produtores.

Conclui-se, portanto, que a agricultura digital pode se converter em importante instrumento de **sustentabilidade ambiental e inclusão social**, desde que articulada a políticas públicas robustas de conectividade rural, programas de formação e alfabetização digital, fortalecimento da assistência técnica e extensão rural e mecanismos de participação dos pequenos produtores na formulação e na governança das agendas de inovação e clima. Somente a partir dessa perspectiva orientada por princípios de **justiça socioambiental** e de democratização do acesso às tecnologias será possível fazer com que a agricultura 4.0

transcenda a lógica estrita da competitividade e se torne um vetor efetivo de redução de desigualdades no meio rural.

Por fim, os resultados aqui sistematizados sugerem a necessidade de **novos estudos empíricos** sobre experiências concretas de adoção de tecnologias digitais por pequenos produtores, cooperativas e iniciativas de base comunitária, bem como de investigações jurídicas sobre regulação, proteção de dados e salvaguardas de direitos no contexto da agricultura digital. A continuidade desse debate, em perspectiva interdisciplinar, mostra-se fundamental para orientar políticas de inovação que estejam alinhadas a um projeto de desenvolvimento rural verdadeiramente sustentável, inclusivo e comprometido com os sujeitos do campo.

REFERÊNCIAS

BOLFE, Édson Luis. Desafios, tendências e oportunidades em agricultura digital no Brasil. In: BOLFE, Édson Luis. Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas. Brasília: Embrapa, 2020. p. 380-406. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1126283>. Acesso em: 12 jun. 2025.

BRASIL. IBGE. Censo Agro 2017. 2017. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro_2017_resultados_definitivos.pdf. Acesso em: 5 jul. 2025.

BUAINAIN, Antônio Márcio et al. Desafios para uma agricultura sustentável: abordagem baseada em nos biomas brasileiros. Desenvolvimento em Debate, Rio de Janeiro, v. 6, n. 2, p. 71-97, jun. 2018. Semestral. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/dd/issue/view/1393>. Acesso em: 03 jul. 2025.

CHANDRA, Alvin; SHMELEV, Stanislav. The relevance of political ecology perspectives for smallholder Climate-Smart Agriculture: a review. Journal Of Political Ecology, [S.L.], v. 24, n. 1, p. 1-22, 27 set. 2017. University of Arizona. <http://dx.doi.org/10.2458/v24i1.20969>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/323102102_The_relevance_of_political_ecology_perspectives_for_smallholder_Climate-Smart_Agriculture_a_review. Acesso em: 04 jul. 2025.

CONSOLINE, Leticia. Desafios, Problemas e Oportunidades da Inovação na Agricultura no Brasil. 2020. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Economia, Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/Resultado/Listar?guid=42a2867a65eca1d26033>. Acesso em: 02 jul. 2025.

LOPES, Maurício Antônio; CONTINI, Elisio. Agricultura, sustentabilidade e tecnologia. Agroanalysis, Brasília, v. 32, p. 28-34, 15 fev. 2012. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/132991/1/Agricultura-Sustentabilidade-e-Tecnologia.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2025.

MANFREDO NETO, Leonardo. Perspectiva, implementação, gestão e tecnologias da agricultura digital: um estudo de caso aplicado ao agronegócio brasileiro. 2023. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia de Produção, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/18165?show=full>. Acesso em: 05 jul. 2025.

MELGAR, Mário. Agricultura Digital ou Agricultura 4.0. Memoria Presentación de Resultados de Investigación 2017-2018, Guatemala, v. 16, n. 01, p. 12-18, set. 2018. Disponível em: <https://cengicana.org/publicaciones>. Acesso em: 03 jul. 2025.

MOHAMED, Elsayed Said; BELAL, Aa.; ABD-ELMABOD, Sameh Kotb; A EL-SHIRBENY, Mohammed; GAD, A.; ZAHRAN, Mohamed B. Smart farming for improving agricultural management. The Egyptian Journal Of Remote Sensing And Space Science, [S.L.], v. 24, n. 3, p. 971-981, dez. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.08.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110982321000582>. Acesso em: 01 jul. 2025.

SOLER-TOVAR, Diego. Conceptualización y necesidades de una agricultura climáticamente inteligente. Revista de Medicina Veterinaria, Bogotá, v. 17, n. 33, p. 07-11, jan. 2017. Disponível em: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_issues&pid=0122-9354&lng=e&nrm=iso. Acesso em: 05 jul. 2025.

SORDI, Victor Fraile; VAZ, Sara Cristiane Machado. Os Principais Desafios para a Popularização de Práticas Inovadoras de Agricultura Inteligente. *Desenvolvimento em Questão*, [S.L.], v. 19, n. 54, p. 204-217, 16 mar. 2021. Editora Unijui. <http://dx.doi.org/10.21527/2237-6453.2021.54.204-217>. Disponível em: <https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/desenvolvimentoemquestao/article/view/10891>. Acesso em: 01 jul. 2025.