

A REVOLUÇÃO SUSTENTÁVEL NO AGRONEGÓCIO: O PAPEL DAS NOVAS TECNOLOGIAS

THE SUSTAINABLE REVOLUTION IN AGRIBUSINESS: THE ROLE OF NEW TECHNOLOGIES

Ari Alves de Oliveira Filho¹
Luís Antônio Siqueira Lima²
Daniel Paulo da Silva³

Resumo

Em um mundo em constante desenvolvimento, onde milhões de pessoas ainda vivem abaixo da linha da pobreza em condições sub-humanas, sem sequer conseguirem se alimentar adequadamente, o agronegócio brasileiro tem se destacado como um dos maiores produtores de alimentos do planeta, sendo frequentemente chamado de “celeiro do mundo”. Nos últimos anos, o setor tem registrado aumentos significativos na produção alimentícia em diversas cadeias produtivas, graças à incorporação de novas tecnologias. Essas inovações têm permitido alcançar maior eficiência, aumentar a produtividade, reduzir custos, e, acima de tudo, proteger o meio ambiente, alinhando-se aos princípios da sustentabilidade.

Palavras-chave: Revolução sustentável; Agronegócio; Novas Tecnologias no Agronegócio; Descarbonização; Energia Circular.

Abstract

In a constantly developing world, where millions of people still live below the poverty line in subhuman conditions, unable to even secure one meal a day, Brazilian agribusiness has emerged as one of the largest food producers on the planet, often referred to as the “breadbasket of the world.” In recent years, the sector has achieved significant increases in food production across various supply chains, driven by the adoption of new technologies. These innovations have enabled greater efficiency, cost reduction, increased productivity, and, above all, environmental protection, aligning with the principles of sustainability.

Keywords: Sustainable Revolution; Agribusiness; New Technologies in Agribusiness; Decarbonization; Circular Energy.

¹ Advogado atuante na área de Direito Ambiental, especialista em Direito Civil e Processo Civil, Mestre em Direito com ênfase em direito ambiental, Doutor em Direito Ambiental Internacional e autor de livros na área. Docente na Fatec de Presidente Prudente. ari.oliveira@fatec.sp.gov.br

² Discente do curso Superior de Gestão em Agronegócio da Fatec de Presidente Prudente-SP, Centro Paula Souza. luissiq24250lima@gmail.com

³ Discente do curso Superior de Gestão em Agronegócio da Fatec de Presidente Prudente-SP, Centro Paula Souza. daniel_brawia2002@hotmail.com

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento demográfico global e a crescente demanda por alimentos para atender às necessidades de uma população mundial em expansão, surge um grande desafio: aumentar a produção de alimentos sem ampliar o desmatamento ou comprometer o meio ambiente e, conseqüentemente, a qualidade de vida da humanidade.

Esse cenário impulsionou a busca por soluções inovadoras que promovam um equilíbrio entre produtividade e sustentabilidade, consolidando o que pode ser chamado de uma revolução sustentável no agronegócio. Nesse contexto, diversas tecnologias têm desempenhado um papel crucial.

A agricultura de precisão, por exemplo, utiliza sensores avançados e dados georreferenciados para monitorar e otimizar o uso de recursos, como água e fertilizantes, reduzindo desperdícios. O uso de drones permite mapear e avaliar o estado das plantações em tempo real, auxiliando na detecção de pragas e doenças. Sensores inteligentes monitoram fatores como umidade e temperatura do solo, enquanto a big data analisa grandes volumes de informações para prever safras e melhorar a tomada de decisões. Já a inteligência artificial automatiza processos, como o plantio e a colheita, aumentando a eficiência operacional e reduzindo custos.

Paralelamente, a gestão agrícola tem passado por uma transformação, migrando de modelos familiares tradicionais para estruturas profissionais e tecnológicas, com foco na eficiência e na sustentabilidade. Essas inovações não apenas aumentam a produtividade, mas também promovem práticas que contribuem para a preservação ambiental.

Este artigo, com base em pesquisa bibliográfica e documental, explora inicialmente os conceitos de agronegócio e sustentabilidade, destacando a necessidade de produzir alimentos com eficiência de maneira sustentável. Em seguida, aborda como as novas tecnologias têm contribuído para o aumento na produção de alimentos, por fim, apresenta como a gestão agrícola busca trabalhar com eficiência e profissionalismo em busca de alta produtividade.

2 AGRONEGÓCIOS E SUSTENTABILIDADE

Os termos “sustentabilidade” e “desenvolvimento sustentável” estão presentes em todos os discursos relacionados ao meio ambiente e nas políticas públicas acerca do tema. Muito se discute, mas sequer existe um conceito definitivo acerca do que significa

desenvolvimento sustentável. Na verdade, não há consenso nem mesmo quanto ao que é desenvolvimento e ao que é sustentável.

Tendo em vista que vários doutrinadores falam do tema, que vários conceitos foram sendo elaborados no decorrer dos estudos e que, no entanto, ainda não foi possível alcançar uma definição unânime e eficaz, entendeu-se pela adequação de apresentar uma breve evolução do tema em questão.

2.1 Breve evolução histórica

Segundo Leonardo Boff, a primeira vez em que se tratou do tema foi na Alemanha no ano de 1560, com o surgimento da palavra alemã *Nachhaltigkeit* que, traduzida, significa “sustentabilidade”. O termo foi desenvolvido com a preocupação pelo uso racional das florestas, de forma que elas pudessem se regenerar e se manter permanentemente (Boff, 2012).

Em 1968, foi formado o Clube de Roma, composto por cientistas, políticos e empresários, para discussões acerca do crescimento econômico e do uso dos recursos naturais. Foi o primeiro grupo a discutir sustentabilidade, limites de desenvolvimento e meio ambiente. As conclusões dos seus estudos foram divulgadas por meio do Relatório Meadows, publicado em 1972, com o título “Os limites do crescimento”, no qual foi demonstrado que o sistema de utilização dos recursos naturais de forma indiscriminada acarretaria seu colapso.

Também em 1972, aconteceu a Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente Humano, realizada pelas Nações Unidas em Estocolmo, evento que representou um momento importante nas discussões acerca do meio ambiente e do desenvolvimento. A Declaração de Estocolmo, documento produzido nessa conferência, trouxe vários princípios a serem seguidos pelos países, dentre os quais se destacam os princípios 2, 3 e 5, pois trazem noções de sustentabilidade:

Princípio 2 - Os recursos naturais da Terra, incluídos o ar, a água, o solo, a flora e a fauna e, especialmente, parcelas representativas dos ecossistemas naturais, devem ser preservados em benefício das gerações atuais e futuras, mediante um cuidadoso planejamento ou administração adequada

Princípio 3 - Deve ser mantida e, sempre que possível, restaurada ou melhorada a capacidade da Terra de produzir recursos renováveis vitais

Princípio 5 - Os recursos não renováveis da Terra devem ser utilizados de forma a evitar o perigo do seu esgotamento futuro e a assegurar que toda a humanidade participe dos benefícios de tal uso (ONU, 1972, p. 1).

Em 1987, a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento

elaborou e publicou o Relatório Brundtland, intitulado Nosso Futuro Comum (*Our Common Future*), trazendo o conceito de desenvolvimento sustentável como “aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades” (ONU, 1988, p. 46).

Esse conceito traz a discussão do significado de “necessidades”, pois elas, as necessidades, podem conter elementos diferentes em razão do local, da época e da cultura e também porque ele, o conceito, carrega consigo a noção de responsabilidade intergeracional, tão presente nas constituições contemporâneas.

O relatório em questão afirma ainda que o “crescimento e o desenvolvimento econômicos produzem mudanças no ecossistema físico” (ONU, 1988, p. 45) após esclarecer que:

[...] o desenvolvimento sustentável não é um estado permanente de harmonia, mas um processo de mudança no qual a exploração dos recursos, a orientação dos investimentos, os rumos do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional estão de acordo com as necessidades atuais e futuras (ONU, 1988, p. 10).

Este mesmo Relatório enfatiza:

Em essência, o desenvolvimento sustentável é um processo de transformação no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforçam o potencial presente e futuro, a fim de atender às necessidades e aspirações humanas (ONU, 1988, p. 49).

A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio-92), a partir de quais discussões acerca do desenvolvimento sustentável passaram a ser o principal assunto das políticas ambientais, “consagrou o desenvolvimento sustentável como uma necessidade da humanidade, incluindo os fatores ambientais juntamente com os econômicos e sociais, no processo político”, conforme sustentam Pais e Rodriguez (2002, p. 12).

Dentre os documentos produzidos nesta Conferência, a Rio-92, destaca-se a Agenda 21, que afirma ser possível, por meio de mobilização mundial, “satisfazer as necessidades básicas, elevar o nível da vida de todos, obter ecossistemas melhor protegidos e gerenciados e construir um futuro mais próspero e seguro” (ONU, 1992, p. 14). Essa mesma Agenda 21 traz várias medidas que objetivam o desenvolvimento sustentável, abordando aspectos econômicos, sociais, culturais e ambientais tais como combate à pobreza, mudança nos padrões de consumo, promoção da saúde, combate ao desflorestamento, proteção de ecossistemas, fortalecimento dos trabalhadores, educação,

etc.

Em 2002, foi realizada a Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, em Joanesburgo, África do Sul, conhecida como Rio+10, que produziu a Declaração de Joanesburgo em Desenvolvimento Sustentável (desafios do desenvolvimento sustentável e compromissos gerais) e o Plano de Implementação – PI.

Na Declaração de Joanesburgo sobre desenvolvimento Sustentável, é possível perceber uma grande preocupação com as questões sociais, pois o documento enumera como “severas ameaças ao desenvolvimento sustentável” os vários problemas sociais, a exemplo da subalimentação; dos conflitos armados; do tráfico humano; da intolerância racial, étnica e religiosa; etc, (ONU, 2002, s.p.). Notável a ampliação no conceito de sustentabilidade, que se preocupa agora não apenas em garantir condições de sobrevivência para as gerações futuras, mas também se atenta com a qualidade de vida e com condições minimamente dignas para a geração presente.

A Conferência de Joanesburgo reforçou a preocupação com o desenvolvimento sustentável nas notas 2, 3 e 5 de sua Declaração:

[...]

2. Assumimos o compromisso de construir uma sociedade global humanitária, equitativa e solidária, ciente da necessidade de dignidade humana para todos.

3. No início desta Cúpula, crianças do mundo nos disseram, numa voz simples, porém clara, que o futuro pertence a elas e, em consequência, conclamaram todos nós a assegurar que, através de nossas ações, elas herdarão um mundo livre da indignidade e da indecência causadas pela pobreza, pela degradação ambiental e por padrões de desenvolvimento insustentáveis (ONU, 2002, s.p.).

[...]

5. Por conseguinte, assumimos a responsabilidade coletiva de fazer avançar e fortalecer os pilares interdependentes e mutuamente apoiados do desenvolvimento sustentável - desenvolvimento econômico, desenvolvimento social e proteção ambiental - nos âmbitos local, nacional, regional e global (ONU, 2002, s.p.).

Além dos evidentes acréscimos ao conceito de sustentabilidade, apresentados na Declaração de Joanesburgo em Desenvolvimento Sustentável, a reunião de cúpula também produziu o Plano de Implementação – PI, no qual determina várias metas a serem cumpridas pelos países (erradicação da pobreza, alteração de padrões de consumo e de produção, proteção dos recursos naturais, etc.).

No entanto, para Pais e Rodriguez (2002, p. 14), a Conferência de Joanesburgo “tinha de definir um plano de atuação mais específico e global e, procurando ir mais longe do que em 1992, passar efetivamente e de forma decidida dos planos à ação”.

Em 2012, foi realizada, no Rio de Janeiro, nova Conferência sobre Desenvolvimento Sustentável, conhecida como Rio+20, que produziu o documento intitulado “O futuro que queremos”, no qual, os países renovam o compromisso “em prol do desenvolvimento sustentável e da promoção de um futuro sustentável do ponto de vista econômico, social e ambiental para nosso planeta e para as presentes e futuras gerações” (ONU, 2012, p. 1).

A Declaração da Rio+20 apresenta uma visão antropocêntrica de desenvolvimento sustentável, ao afirmar que “os povos estão no centro do desenvolvimento sustentável” e forma positiva, o compromisso com um “mundo justo e equitativo para todos” (ONU, 2012, p. 3). Essa mesma declaração também demonstra preocupação com os países em desenvolvimento, com a equidade social e a proteção do meio ambiente, bem como com a participação da sociedade nas decisões, refletindo os discursos sociais e políticos contemporâneos.

O texto da Rio+20, apesar de abordar várias preocupações sociais, foi duramente criticado pelos participantes e pela sociedade, que sustentam ser um texto “fraco”, tendo em vista que, em sua maior parte, apenas reafirma compromissos já estabelecidos nas Conferências anteriores, com poucas ações concretas em busca do desenvolvimento sustentável e aquém da importância e da urgência dos temas tratados.

Desta breve análise dos documentos elaborados ao longo do tempo, o que se conclui é que os conceitos de sustentabilidade e de desenvolvimento sustentável se desenvolveram e se ampliaram. Inicialmente, tratavam apenas de questões ambientais e, em seguida, incluíram nas discussões os aspectos socioeconômicos, ampliando o alcance desses conceitos.

Cabe reafirmar que, apesar da discussão do tema ser uma constante na sociedade, ainda não há consenso acerca dos termos sustentabilidade e desenvolvimento sustentável. O que se verifica em comum, nas várias definições e conceitos, é a ideia do pacto intergeracional, que traz a preocupação com a finitude dos recursos naturais e com a sobrevivência das futuras gerações, bem como o avanço nas discussões, inicialmente restritos aos aspectos naturais e com a inclusão de aspectos sociais, econômicos e culturais.

3 NOVAS TECNOLOGIAS NO AGRONEGÓCIO

A inovação, especialmente a inovação tecnológica, é tida atualmente como essencial nas estratégias de diferenciação, competitividade e crescimento em um número cada vez maior de negócios. A adoção de estratégias e práticas inovativas nas empresas está estreitamente associada à busca de diferenciações capazes de realizar produtos e serviços para o mercado que gerem vantagens competitivas sustentáveis em relação a seus competidores (Vilha, 2009).

Luján e Cerezo (2004) *apud* Lima, Ruzene entendem que, se a tecnologia é uma ciência aplicada, então sua execução prática deve ser posterior à aquisição de um estudo seguro quanto aos seus reais efeitos, de modo que a tecnologia aplicada se perfaça sob a proteção do estudo teórico. Assim, poucas possibilidades existirão de desagradáveis surpresas ocorrerem, já que o prévio conhecimento científico é uma das ferramentas mais eficaz para controlar as consequências de uma má aplicação tecnológica.

E a prevenção de resultados desfavoráveis é essencial posto que não se trata de apenas um equívoco e processo defeituoso de ensaio, mas sim de uma atuação interventiva no mundo, seja ele globalizado ou não, cujas consequências afetam inclusive as pessoas. Portanto, toda intervenção deve basear-se no método da experiência própria da ciência atual e moderna, bem como no conhecimento da teoria.

A mudança tecnológica na agricultura nos últimos anos tem sido o foco da pesquisa na área, por desempenhar um papel decisivo no atendimento às demandas futuras de produtos agrícolas (Dietrich *et al.*, 2014; Hertel, Baldos, e Mensbrugge, 2016 *apud* Petry *et al.*, 2019). O ambiente tecnológico de rápidas mudanças tende a influenciar os pequenos agricultores que, às vezes, enfrentam dificuldades para assimilar a tecnologia e os modelos de negócio do sistema econômico. Apesar das dificuldades, a inovação na agricultura tem mostrado uma forte correlação com o aumento da produção agrícola (Runge *et al.*, 2003). O incremento da produção agrícola tem sido o resultado da mudança tecnológica induzida pelos investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) (Dietrich *et al.*, 2014).

A literatura relativa às inovações na agricultura desenvolveu seu próprio vocabulário e também se diversificou: de um lado, há a linha de pesquisa que investiga a geração de inovações (Adenle, Manning e Azadi, 2017; Kassie *et al.*, 2015; Pound e Conroy, 2017 *apud* Petry *et al.*, 2019); e, de outro, o foco incide sobre a promoção da adoção e do uso de inovações no agronegócio (Kassie *et al.*, 2015; Morrone, 2017; Petry e Machado, 2014 *apud* Petry *et al.*, 2019).

Há, portanto, a linha de investigação que faz distinção entre as inovações que são incorporadas em bens ou produtos, tais como tratores, fertilizantes, sementes e insumos diversos; e, em contrapartida, o posicionamento investigativo que visa à promoção da inovação rural como, por exemplo, programas de promoção de manejo integrado de pragas, treinamentos técnicos, dias de campo, reuniões técnicas, visitas técnicas; isto é, programas direcionados ao investimento na promoção e difusão da inovação rural (Morrone, 2017; Sunding; Zilberman, 2002 *apud* Petry et al., 2019).

Diante dessa tamanha variedade de inovações voltadas para a agricultura, Kassie *et al.* (2015) alertam que a intensificação na adoção generalizada de inovações sem o devido acompanhamento técnico e/ou o apoio público especializado pode gerar consequências negativas, tais como o esgotamento e a contaminação do lençol freático e a degradação da fertilidade do solo.

Isto porque a adoção e a difusão de tecnologias agrícolas abrangem um certo grau de complexidade na tomada de decisão dos pequenos produtores. E essa complexidade reside, em parte, no fato da incerteza dos benefícios dessas tecnologias antes da sua adoção. Os potenciais produtores e atuais adotantes tomam consciência desses benefícios mediante o *feedback* de informações por estarem inseridos na comunidade. Aprender a respeito dos benefícios das tecnologias influencia no processo de adoção dessas tecnologias. O processo de difusão ocorre com a admissão de tecnologias pelos membros da comunidade; assim, a decisão de conceber uma nova tecnologia ocorre a partir dos potenciais resultados obtidos pelo adotante (Fisher *et al.*, 2000; Noltze; Schwarze; Qaim, 2012 *apud* Petry et al., 2019).

3.1 Agricultura de Precisão

A agricultura de precisão é uma filosofia de gerenciamento agrícola que parte de informações exatas, precisas e se completa com decisões adequadas. Agricultura de precisão, também chamada de AP, é uma maneira de gerir um campo produtivo metro a metro, levando em conta o fato de que cada pedaço da fazenda tem propriedades diferentes (Roza, 2000 *apud* Zerbato; Corrêa; Furlani, 2020).

A fundamentação da Agricultura de Precisão (AP) surgiu em 1929, nos Estados Unidos (EUA), por meio de trabalhos de pesquisa realizados na Universidade de Illinois. A AP aborda técnicas de manejo agrícola que valorizam a variabilidade espacial e trabalha as lavouras por talhões georreferenciados, possibilitando a aplicação de

nutrientes em taxas variáveis conforme a deficiência de cada insumo no solo. Esta nova forma de gestão das lavouras está diretamente ligada ao desenvolvimento de novas tecnologias que ajudam o produtor na tomada de decisões mais acuradas. Um dos benefícios gerados é a redução de custos da lavoura, o que proporciona aumento da competitividade nos cenários nacional e internacional (Ribeiro *et al.*, 2020).

De acordo Silva *et al.* (2018, p.3, *apud* Ramin; Lima; Barbosa, 2021, p. 8), “atualmente, o mundo tem uma disponibilidade de informação enorme, e o que está proporcionando isso para a humanidade são os avanços tecnológicos”. E ainda que “esse cenário de novos métodos tecnológicos está propenso a crescer cada vez mais, principalmente no setor do agronegócio” (Silva *et al.* 2018, p.3, *apud* Ramin; Lima; Barbosa, 2021, p. 8).

No Brasil, houve um crescimento surpreendentemente do uso dessas tecnologias pelos produtores rurais, podendo-se perceber isso pelo aumento de produtividade no campo, por exemplo. O rendimento de grãos no Brasil nesses últimos 20 anos dobrou de quantidade, pois onde antes eram produzidos 50,8 milhões de toneladas, hoje se consegue 100 milhões de toneladas na mesma área plantada (Rodrigues, 2013 *apud* Ramin; Lima; Barbosa, 2021, p. 8).

3.2 Drones

De acordo com Medeiros (2007), citado por Jorge e Inamasu (2013, p. 112), “os veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) são pequenas aeronaves, sem qualquer tipo de contato físico direto, capazes de executar diversas tarefas, tais como monitoramento, reconhecimento tático, vigilância e mapeamento entre outras”. Apesar dessa capacidade de execução de várias tarefas, eles têm limitação em termos da capacidade de carga a bordo e de acordo com as condições climáticas.

O termo Veículo Aéreo Não Tripulado é mundialmente reconhecido e inclui uma grande gama de aeronaves que são autônomas, semiautônomas ou remotamente operadas. Segundo a Associação Brasileira de Aeromodelismo (ABA,), a definição para Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) é: “um veículo capaz de voar na atmosfera, fora do efeito de solo, que foi projetado ou modificado para não receber um piloto humano e que é operado por controle remoto ou autônomo” (ABA, 2005 *apud* Pimenta et al., 2022). O Sistema Aéreo Não Tripulado (SANT) significa o conjunto de veículos aéreos não tripulados, seus controles de voo e seu sistema de operação, isto é, a união de todas as

atividades que estão interligadas no plano de voo (Rasi, 2008).

O relato que se tem é que a origem desses veículos está ligada à área militar, como alvos aéreos manobráveis, reconhecimento tático, guerra eletrônica, entre outras, sabendo-se que os mísseis antinavios, bombas guiadas propulsadas ou planadas também são classificadas como aeronaves não tripuladas (Medeiros, 2007, *apud* Jorge e Inamasu (ano, p. 112). Tais VANTS, se equipados com instrumentos de transmissão de dados, são capazes de distribuir, em tempo real, os dados recolhidos. Sendo assim, as aeronaves não tripuladas têm sido projetadas para vários tipos de missão.

O desenvolvimento dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) surgiu como uma importante opção na agricultura de precisão. Sua aplicação na área agrícola e em missões de reconhecimento vem sendo favorecida e facilitada pelo atual estágio de desenvolvimento tecnológico, principalmente pela redução do tamanho dos equipamentos, pela necessidade de otimização da produção e pela diminuição do custo.

Com os preços mais acessíveis e com uma maior confiabilidade, a tecnologia se faz disponível atualmente nos drones, tornando-os cada vez mais fáceis de serem operados e mais viáveis para o uso no campo. A última implantação tecnológica no setor foi o uso de drones em diversos processos em tempo real, como apontamentos de dados da colheita, pulverização, além de identificação de pragas de dificuldades na produção, assim otimizando o tempo de tomada de decisões, a fim de reduzir perdas e aumentar a performance (Giraldeli, 2019).

3.3 Sensores e Big Data

Pesquisadores de diversas instituições brasileiras têm discutido o papel das novas tecnologias na modernização do agronegócio, destacando como sensores, drones e sistemas automatizados estão transformando a gestão agrícola. A expansão da chamada Agricultura 4.0 permite que lavouras de soja, café e até granjas de aves sejam monitoradas em tempo real, fornecendo dados sobre irrigação, temperatura, composição do solo e bem-estar animal (Bolfe et al., 2020). Essa integração entre sensores e análise de dados visa otimizar recursos e elevar a produtividade, consolidando o uso do Big Data como aliado estratégico da produção agrícola.

Nesse contexto, Barros et al. (2020) destacam que o uso de drones equipados com câmeras e sensores de alta resolução vem se tornando uma ferramenta essencial para o monitoramento de lavouras e apoio à tomada de decisão. Segundo os autores, os drones

são capazes de coletar informações sobre a umidade, crescimento vegetal e até identificar pragas, contribuindo para o manejo de precisão e a redução de custos operacionais (Barros et al., 2020).

Além das lavouras, as inovações também alcançam a pecuária. Pesquisas do Instituto de Zootecnia indicam que sensores corporais e coleiras inteligentes já permitem acompanhar variáveis como temperatura, ingestão alimentar e produção de leite em tempo real, garantindo melhor controle da saúde e produtividade do rebanho (Cavalcanti; Correia; Brito, 2020). Esses dispositivos contribuem para reduzir perdas, detectar doenças precocemente e aumentar a eficiência energética e hídrica das fazendas.

De acordo com Souza et al. (2021), a integração entre sensores e sistemas digitais exige equipes multidisciplinares compostas por engenheiros agrícolas, zootecnistas e cientistas da computação. Essa convergência entre tecnologia e ciências agrárias é um dos pilares da Internet das Coisas (IoT) no campo, permitindo que dados coletados sejam analisados e convertidos em decisões precisas. Assim, a agricultura digital promove não apenas ganhos de produtividade, mas também sustentabilidade e uso racional de insumos (Souza et al., 2021)

3.4 Inteligência Artificial

O avanço acelerado das tecnologias aplicadas ao campo tem alimentado a perspectiva de que a produção mundial de alimentos poderá ser suficiente para atender à demanda crescente da população global nas próximas décadas. Pesquisas recentes demonstram que o uso de tecnologias digitais e automação tem aumentado significativamente a produtividade agrícola, reduzindo desperdícios e otimizando recursos naturais (Silveira; Farina; Santos, 2022). Esse processo é impulsionado por empresas de base tecnológica (AgTechs), que desenvolvem soluções para monitoramento de lavouras, gestão de dados, conectividade e sustentabilidade.

Durante encontros científicos e eventos sobre Agricultura 4.0, pesquisadores destacam que o futuro da produção agropecuária será marcado pela integração entre sensores, drones, inteligência artificial e internet das coisas (IoT), tecnologias capazes de transformar grandes volumes de dados em informações úteis para a tomada de decisão (Lima et al., 2020). Essa tendência já está presente em diversas regiões do Brasil, promovendo ganhos de eficiência, sustentabilidade e competitividade no setor agrícola.

Com base em análises exploratórias e levantamentos bibliográficos, estudos

recentes vêm identificando como o uso de Big Data, aprendizado de máquina e softwares de gestão agrícola têm modificado o cotidiano dos produtores. As ferramentas digitais permitem o monitoramento de lavouras, o controle climático e o uso racional de insumos, além de facilitar o planejamento estratégico das propriedades (Carraro; Godinho Filho; Oliveira, 2019).

O compartilhamento de dados agrícolas também é apontado como uma das maiores vantagens da agricultura digital. Segundo Barros et al. (2020), a conectividade e o uso de drones no campo tornam o processo decisório mais eficiente, reduzem custos e melhoram a produtividade por meio da integração de dados coletados em tempo real (Barros et al., 2020). Esses autores destacam que a consolidação da agricultura de precisão depende do trabalho conjunto entre governos, universidades e empresas privadas, de modo a desenvolver políticas e práticas voltadas à segurança alimentar e à inovação tecnológica no campo.

3.5 Gestão agrícola

Para melhorar o desempenho econômico de pequenos agricultores rurais associados é necessária uma estrutura administrativa funcional com procedimentos específicos para a tomada de decisões, a análise de viabilidade de projetos e a gestão de recursos financeiros e humanos (Melo; Cunha; Bahia, 2016).

Essa concepção administrativa das atividades rurais surgiu mais recentemente. Ainda que a visão da administração rural como um ramo da economia rural persista em muitas instituições, há também uma nova ótica passou a ser dada à administração rural, uma abordagem, cuja boa compreensão requer o estudo do livro *Administração da empresa agrícola*, no qual Hoffmann e Neves (1987) elaboraram a conceituação da administração rural como ramo da ciência administrativa, possibilitando o acesso às suas teorias, desde a perspectiva clássica de Taylor até a moderna teoria do desenvolvimento organizacional e com essa nova abordagem, introduziram o conceito de administração rural às áreas de finanças, comercialização, marketing e recursos humanos, considerando tais áreas tão importantes como a área da produção (Hoffmann; Neves, 1987).

Não é sem razão que Fráguas (2003) aponta que quando se planeja, é possível identificar as oportunidades têm potencial para aparecer, os eventuais problemas que poderão surgir e determinar um método que busque antecipar as consequências de uma ação.

Deste modo, constata-se que é fundamental que o produtor rural também esteja bem informado a respeito da composição e do comportamento de seus custos, inclusive com visualização antecipada de restrições e dificuldades que poderão ser impostas por eventuais mudanças nos níveis de preço de mercado incidente sobre os elementos componentes do custo rural. Isto porque tais informações permitem ao produtor ponderar e melhor elaborar estratégias de ação fundamentadas em dados confiáveis e que busquem as melhores alternativas mais acertadas possíveis.

Nesse sentido, essenciais os argumentos de Drucker (2003) de que a administração deve colocar o desempenho econômico em primeiro lugar, pois uma empresa só justifica a sua existência mediante os resultados econômicos que produz, independentemente dos demais resultados que obtiver. Por fim, enfatiza-se a importância de se realizar estudos cada vez mais recorrentes e aprofundados quanto à gestão agrícola, que primem, sobretudo, por definir, em relação ao gestor organizador de alianças entre pequenos produtores, seu perfil, sua influência, suas habilidades pessoais e administrativas; bem como a compreensão da cultura associativa na formação da rede e de alianças; a identificação tanto das necessidades quanto da percepção da população local e quanto aos benefícios, ou não, dessas alianças estratégicas e; finalmente a relação de apoio das instituições públicas nos projetos desenvolvidos com os pequenos agricultores (Melo; Cunha; Bahia, 2016).

3.6 Energia Circular

Um conceito que vem ganhando força na busca por uma solução parcial ou completa para os desafios do desenvolvimento sustentável é o de Economia Circular (EC) (Geissdoerfer *et al.*, 2017). Os recursos naturais disponíveis não são suficientes para suportar o atual sistema econômico, que prevê a extração, transformação, uso e descarte dos materiais (Lieder; Rashid, 2016).

O setor de alimentos sofre pressão de vários atores devido ao seu alto impacto no meio ambiente, bem como às perdas e aos desperdícios que geram pois, as cadeias de alimentos são responsáveis por quase 30% do consumo mundial de energia e cerca de 22% das emissões totais de Gases de Efeito Estufa (GEE) (EMF, 2019; FAO, 2017; UNITED NATIONS, 2019). Outro aspecto relevante é que as Cadeias de Suprimentos Agroalimentares (CSA) por serem mais vulneráveis à deterioração e à destruição (Kaur *et al.*, 2020; Tirkolae *et al.*, 2020), geram grandes quantidades de resíduos todos os anos

(Neves *et al.*, 2021), sem contar que são perdidos, 14% dos produtos agrícolas durante o transporte e armazenamento após a colheita (FAO, 2019).

Esses fatores colocam o setor de alimentos em posição de destaque para uma rápida transição para um modelo baseado em EC (EMF, 2019; Sharma *et al.*, 2020). E, em função disso, diversos desafios devem ser enfrentados em todas as suas diferentes etapas, desde a produção e o consumo de alimentos até a gestão de resíduos e excedentes (Govindan, 2017; Jurgilevich *et al.*, 2016), com vistas à criação de uma cadeia mais sustentável e eficiente. Convém alertar que, apesar do destaque negativo ser dado ao setor de alimentos, o desperdício prevalece para todo sistema produtivo, impactando o ambiental de forma desfavorável.

Cabe lembrar que, com a Revolução Industrial, a produção agrária feudal foi substituída pela produção de mercados, em que a variedade de bens materiais e a força de trabalho humano tornaram-se mercadorias, ou capitais. E o modelo econômico linear, iniciado durante a Revolução Industrial no século XVIII, desenvolveu-se usando inovações científicas e tecnológicas exploratórias, ignorando os limites dos danos que a longo prazo, estavam causando ao meio ambiente e, conseqüentemente, à sociedade, conforme apontam Oliveira, Silva e Moreira (2019), citando Giddens (1991) e Prieto-Sandoval (2018).

O atual comportamento linear de produção e consumo tem gerado quantidades sem precedentes de resíduos (Khounani *et al.*, 2021; Maina; Kamuhu; Kioko, 2017), e afetado os recursos hídricos (Wang *et al.*, 2020). Uma possível solução para superar os desafios dessa preocupação de escala global é projetar sistemas mais circulares (Sutherland *et al.*, 2021), visando assim uma economia circular (Salvador *et al.*, 2021), caracterizada como regenerativa e restauradora e que visa manter os recursos em uso pelo maior tempo possível (EMF, 2013).

A partir do destaque dado à característica insustentável do atual sistema econômico de produção, linear de ciclo aberto, pelo qual os recursos materiais são extraídos da natureza para produção e consumo, mas também geram, como saída, resíduos que são descartados e dispostos na própria natureza, Pearce e Turner (1990), com seu trabalho, fizeram surgir o conceito de Economia Circular (EC) no início dos anos 1990 (Lieder; Rashid, 2016; QI *et al.*, 2016)

De acordo com Murray, Skene e Haynes (2017), diversos autores atribuem significados diferentes à EC. Entretanto, existe o consenso (Genovese *et al.*, 2017;

Moktadir *et al.*, 2018; Macdonough; Braungart, 2002) no sentido de que a EC possui uma característica de sistema de ciclo fechado (*close-loop system*), pelo qual o valor dos produtos e materiais é mantido pelo maior tempo possível e o desperdício é, preferencialmente, evitado, reduzido, reutilizado e valorizado ou, alternativamente, totalmente reciclado (EMF, 2013; Murray *et al.*, 2017). Outra abordagem como os 7Rs – recuperar, reciclar, redesenhar, reduzir, renovar, reparar e reutilizar – também foi projetada buscando alcançar a mudança para uma Economia Circular (Barros *et al.*, 2020; Araujo-Moreira *et al.*, 2021).

3.7 Energia Solar e Eólica

Para a geração de energia elétrica, além das hidrelétricas, também se pode contar com as fontes renováveis, realidade que tem crescido significativamente no Brasil. Nos últimos dois anos, as fontes, eólica e solar, dobraram de volume, passando de 30 GW para mais de 60 GW de capacidade instalada. A penetração das eólicas e de solares tem aumentado significativamente, primeiro, em função da competitividade dos parques eólicos e solares nos leilões de energia e, mais recentemente, pela opção dos consumidores pela geração distribuída – instalando sistemas fotovoltaicos em residências ou empresas.

A tecnologia fotovoltaica é uma dessas tecnologias de energia renovável, cujo uso deve crescer significativamente nos próximos anos (Mathur; Singh; Sutherland, 2020), pois é uma alternativa promissora quando comparada com as demais tecnologias (Gautam; Shankar; Vrat, 2021). Contudo, não se pode esquecer que conforme aumenta a demanda por essa tecnologia, também aumentará a necessidade de minerar materiais virgens, a exemplo de silício, índio, prata, telúrio e cobre, para a fabricação de novos produtos e equipamentos; materiais virgens esses que são finitos (Curtis *et al.*, 2021 apud Santos; Brito; Shibao, 2021).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Conferência Mundial sobre Meio Ambiente Humano, promovida pelas Nações Unidas em Estocolmo, em 1972, marcou um divisor de águas na percepção global a respeito da preservação ambiental. Abandonou-se, então, uma visão predominantemente antropocêntrica em favor de uma abordagem mais egocêntrica, reconhecendo a necessidade urgente de aliar o desenvolvimento humano à proteção do meio ambiente.

Esse movimento foi impulsionado por diversas catástrofes ambientais que já impactavam significativamente o planeta, exigindo mudanças imediatas.

Simultaneamente, o crescimento demográfico mundial demandava um aumento expressivo na produção de alimentos, o que colocava desafios especialmente para países com condições inadequadas de solo, clima ou infraestrutura agrícola. Nesse contexto, o Brasil destacou-se como uma alternativa global, graças à sua vasta extensão territorial, condições climáticas favoráveis e recursos naturais propícios à agroindústria. Contudo, esse crescimento trouxe consigo a necessidade de equilibrar a produção alimentar com a sustentabilidade ambiental.

Nas décadas seguintes, a exportação agrícola brasileira atingiu níveis recordes, contribuindo significativamente para o PIB nacional. No entanto, a pressão internacional pela preservação da Amazônia e de outros biomas cresceu consideravelmente e os países desenvolvidos passaram a exigir rastreabilidade dos alimentos exportados, rejeitando produtos oriundos de áreas desmatadas ilegalmente ou produzidos em desacordo com legislações ambientais. Isso forçou o agronegócio brasileiro a se reinventar, embarcando em uma revolução tecnológica.

Essa revolução incluiu a adoção de tecnologias inovadoras, como a agricultura de precisão, que utiliza sensores e dados georreferenciados para otimizar o uso de recursos, como água e fertilizantes, reduzindo desperdícios e aumentando a eficiência. O uso de drones tornou possível o mapeamento em tempo real de grandes áreas agrícolas, facilitando a identificação de pragas e doenças, enquanto sensores inteligentes passaram a monitorar umidade e temperatura do solo, automatizando sistemas de irrigação. Além disso, ferramentas como *a big data* começaram a analisar grandes volumes de informações para prever safras e orientar estratégias de mercado, enquanto a inteligência artificial passou a automatizar processos como o plantio e a colheita, reduzindo custos e melhorando a eficiência operacional.

A convergência entre inovação tecnológica e sustentabilidade transformou o agronegócio brasileiro em um modelo de adaptação diante dos desafios globais. Essa transição não apenas assegurou a competitividade do setor em mercados internacionais exigentes, como também reforçou o compromisso do Brasil com o desenvolvimento sustentável. No entanto, os desafios persistem: é fundamental que o setor continue investindo em pesquisa e desenvolvimento, assegurando que o crescimento econômico caminhe lado a lado com a preservação ambiental. A revolução tecnológica no

agronegócio é mais do que uma resposta às demandas globais – é uma oportunidade de liderar um movimento que equilibra progresso e responsabilidade ambiental, pavimentando o caminho para um futuro mais sustentável.

REFERÊNCIAS

ABA. Associação Brasileira de Aerodelismo. **Estatuto da Confederação Brasileira de Aerodelismo**. São Paulo, 2005.

ADENLE, A. A.; MANNING, L.; AZADI, H. Agribusiness innovation: a pathway to sustainable economic growth in Africa. **Trends in Food Science & Technology**, v. 59, p. 88–104, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224416300528>. Acesso em: 24 nov. 2025.

ARAUJO-MOREIRA, F. M.; ALMEIDA, R. S.; VASCONCELOS, L. P. O papel dos 7Rs na transição para a economia circular: uma revisão sistemática. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 8, n. 18, p. 110–127, 2021. DOI: [https://doi.org/10.21438/rbgas\(ISSN\)vol8iss18id1083](https://doi.org/10.21438/rbgas(ISSN)vol8iss18id1083).

ARAÚJO, E.; SILVA, M.; RIBEIRO, R. **Sustentabilidade e descarbonização: desafios práticos**. Braga: Universidade do Minho, 2020. Disponível em: https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/64860/3/2020_Araujo_Silva_Ribeiro_sustentabilidade_e_descarbonizacao.pdf. Acesso em: 27 ago. 2024.

BARROS, H. S.; REIS, M. F.; SANTOS, M. S.; SILVA, K. O. D.; BRITO, V. R. S. Auxiliando o processo decisório na agricultura 4.0: revisando os métodos ordinais na seleção de drones. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, v. 12, n. 2, p. 71–83, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5335/rbca.v12i2.11823>.

BOFF, L. **Sustentabilidade: o que é: o que não é**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2012.

BOLFE, É. L. et al. Precision and digital agriculture: adoption of technologies and perception of Brazilian farmers. **Agriculture**, v. 10, n. 12, p. 653, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture10120653>.

CARRARO, N. C.; GODINHO FILHO, M.; DE OLIVEIRA, E. C. Technologies of the Industry 4.0: perspectives of application in the Brazilian agribusiness. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 6, n. 7, p. 319–330, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Edenis-De-Oliveira/publication/334705188_Technologies_of_the_Industry_40_Perspectives_of_Application_in_the_Brazilian_Agribusiness/links/5ebc0dcba6fdcc90d674dd77/Technologies-of-the-Industry-40-Perspectives-of-Application-in-the-Brazilian-Agribusiness.pdf. Acesso em: 25 nov. 2025.

CAVALCANTI, A. J. F. N.; CORREIA, F. P.; BRITO, J. A. Validação de uma rede de sensores sem fio aplicada à fruticultura irrigada do Vale do São Francisco. **Brazilian**

Applied Science Review, v. 4, n. 5, p. 2763–2780, 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BASR/article/view/16108>. Acesso em: 25 nov. 2025.

CURTIS, J. et al. Economia circular e a energia solar fotovoltaica. **Colóquio – Revista do Desenvolvimento Regional**, v. 18, n. 1, p. 102–121, 2021. Disponível em: <https://seer.faccat.br/index.php/coloquio/article/view/2378/1480>. Acesso em: 9 nov. 2024.

DIETRICH, J. P. et al. Forecasting technological change in agriculture: an endogenous implementation in a global land use model. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 81, p. 236–249, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040162513000279>. Acesso em: 17 nov. 2025.

DRUCKER, P. F. **Desafios gerenciais para o século XXI**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the Circular Economy: Economic and business rationale for an accelerated transition**. Cowes, UK: Ellen MacArthur Foundation, 2013. Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1>. Acesso em: 27 nov. 2025.

FAO. **The future of food and agriculture: trends and challenges**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017. Disponível em: <https://www.fao.org/publications/fofa/en/>. Acesso em: 27 nov. 2025.

FAO. **The state of food and agriculture 2019: moving forward on food loss and waste reduction**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019. Disponível em: <https://www.fao.org/publications/sofa/en/>. Acesso em: 27 nov. 2025.

FISHER, D. K. et al. Understanding technology adoption through system dynamics modeling: implications for agribusiness management. **The International Food and Agribusiness Management Review**, v. 3, n. 3, p. 281–296, 2000. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1096750801000489>. Acesso em: 25 nov. 2025.

FRÁGUAS, J. C. **Planejamento e controle na empresa rural**. Lavras: UFLA, 2003.

GAUTAM, N.; SHANKAR, R.; VRAT, P. Framework for circular economy implementation in manufacturing systems: a system dynamics approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 287, p. 125–140, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125140>.

GEISSDOERFER, M.; SAVAGET, P.; BOCKEN, N. M. P.; HULTINK, E. J. The circular economy – a new sustainability paradigm. **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 757–768, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616321023>. Acesso em: 25 nov. 2025.

GENOVESE, A.; ACQUAYE, A. A.; FORMAN, C.; KOH, S. C. L. Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: evidence and some applications. *Omega*, v. 66, p. 344–357, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.05.015>.

GIRALDELI, A. L. Drones na agricultura: como eles te ajudam a lucrar mais. *Aegro Blog*, 2019. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/drones-na-agricultura/>. Acesso em: 25 nov. 2025.

GOVINDAN, K. Sustainable consumption and production in the food supply chain: a conceptual framework. *International Journal of Production Economics*, v. 195, p. 419–431, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.03.003>.

HOFFMANN, R.; NEVES, E. M. **Administração da empresa agrícola**. São Paulo: Pioneira, 1987.

JORGE, L. A. C.; INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. *Ferramentas para Agricultura de Precisão*, v. 8, p. 109, 2013. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/41812567/drones_agricultura-libre.pdf. Acesso em: 17 nov. 2025.

JURGILEVICH, A. et al. Transition towards circular economy in the food system. *Sustainability*, v. 8, n. 1, p. 69, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3390/su8010069>.

KAUR, H. et al. Modelling low carbon sustainable food supply chains under uncertainty: a fuzzy optimization approach. *Journal of Cleaner Production*, v. 275, p. 122913, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122913>.

KAOUNANI, M. et al. Designing a closed-loop supply chain network in the agri-food industry under uncertainty: a sustainable approach. *Journal of Cleaner Production*, v. 294, p. 126311, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126311>.

KASSIE, M. et al. Understanding the adoption of a portfolio of sustainable intensification practices in eastern and southern Africa. *Agricultural Systems*, v. 135, p. 21–31, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264837714001926>. Acesso em: 17 nov. 2025.

LIEDER, M.; RASHID, A. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*, v. 115, p. 36–51, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615018661>. Acesso em: 25 nov. 2025.

LIMA, G. C. et al. Agro 4.0: enabling agriculture digital transformation through IoT. *Revista Ciência Agronômica*, v. 51, p. e20207771, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/DVtW6Gqn88LZ7KSrMG8TnJh/>. Acesso em: 25 nov. 2025.

LIMA, J. S.; RUZENE, D. S.; SILVA, D. P. Inovação tecnológica e sua função social. **Anais... VII SIMPROD**, 2015. Disponível em: <http://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/7831>. Acesso em: 17 nov. 2025.

MACDONOUGH, W.; BRAUNGART, M. **Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things**. New York: North Point Press, 2002.

MAINA, F. W.; KAMUHU, N. J.; KIOKO, J. K. Waste generation and management practices in the manufacturing industry. **Environmental Management and Sustainable Development**, v. 6, n. 1, p. 120–135, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5296/emsd.v6i1.10682>.

MATHUR, A.; SINGH, R. K.; SUTHERLAND, J. W. Analyzing the circular economy implementation in manufacturing: a case-based approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 275, p. 123123, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123123>.

MEDEIROS, M. Etnodesenvolvimento e desenvolvimento local: contributos para um debate teórico. **Ambiência**, v. 7, n. 1, p. 165–177, 2011. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/1097>. Acesso em: 17 nov. 2025.

MELO, P.; CUNHA, J.; BAHIA, N. C. F. O processo decisório em propriedades rurais: análise do uso das ferramentas de gestão pelos produtores de leite do Triângulo Mineiro. **Revista ABCustos**, v. 10, n. 3, 2016. Disponível em: <https://revista.abcustos.org.br/abcustos/article/view/310>. Acesso em: 25 nov. 2025.

MOKTADIR, M. A.; RAHMAN, T.; RAHMAN, M. H.; ALI, S. M.; PAUL, S. K. Drivers to sustainable manufacturing practices and circular economy: a perspective of leather industries in Bangladesh. **Journal of Cleaner Production**, v. 174, p. 1366–1380, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.063>.

MORRONE, V. Outreach to support rural innovation. In: *Agricultural Systems*. London: Academic Press, 2017. p. 407–439. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/chapter/edited-volume/abs/pii/B9780128020708000128>. Acesso em: 25 nov. 2025.

MURRAY, A.; SKENE, K.; HAYNES, K. The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. **Journal of Business Ethics**, v. 140, n. 3, p. 369–380, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2>.

NEVES, M. F.; MORAES, J.; TROMBIN, V. G.; MILAN, P. A circular economy framework for the agrifood supply chain: integrating value creation, sustainable production and waste reduction. **Sustainability**, v. 13, n. 8, p. 4316, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13084316>.

NOLTZE, M.; SCHWARZE, S.; QAIM, M. Understanding the adoption of system technologies in smallholder agriculture: the system of rice intensification (SRI) in Timor Leste. **Agricultural Systems**, v. 108, p. 64–73, 2012. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308521X1200011X>. Acesso em: 25 nov. 2025.

OLIVEIRA, A. C. V.; SILVA, A. S.; MOREIRA, Í. T. A. Economia circular: conceitos e contribuições na gestão de resíduos urbanos. **Revista de Desenvolvimento Econômico – RDE**, ano XXI, v. 3, n. 44, dez. 2019. Disponível em: <https://revistas.unifacs.br/index.php/rde/article/view/6386/0>. Acesso em: 9 nov. 2024.

OLIVEIRA, R. R.; SILVA, L. P.; MOREIRA, C. A. Sustentabilidade e economia circular: um estudo sobre as práticas empresariais no Brasil. **Revista de Administração e Inovação**, v. 16, n. 3, p. 206–224, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rausp.2019.01.002>.

ONU. **Report of the United Nations Conference on the Human Environment**. Estocolmo, 1972. Disponível em: <https://digitallibrary.un.org/record/523249>. Acesso em: 8 jun. 2025.

ONU. Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD). **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1988.

ONU. Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento: **Agenda 21**. Rio de Janeiro: ONU, 1992. Disponível em: <https://books.google.com/books?id=OmWvBAAAQBAJ>. Acesso em: 14 nov. 2025.

ONU. **Declaração de Joanesburgo sobre Desenvolvimento Sustentável**. Joanesburgo: ONU, 2002. Disponível em: <https://undocs.org/en/A/CONF.199/20>. Acesso em: 14 nov. 2025.

ONU. **Conferência Rio+20: o futuro que queremos**. Rio de Janeiro: ONU, 2012. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/13662/N1238164.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2025.

ONU. **World Economic Situation and Prospects 2019**. New York: United Nations, 2019. Disponível em: <https://www.un.org/development/desa/dpad/publication/world-economic-situation-and-prospects-2019/>. Acesso em: 27 nov. 2025.

PAIS, A.; RODRIGUES, J. Educação, ciência e tecnologia: reflexões sobre inovação e desenvolvimento. **Revista Brasileira de Educação Tecnológica**, v. 4, n. 2, p. 15–29, 2002.

PEARCE, D. W.; TURNER, R. K. **Economics of Natural Resources and the Environment**. London: Harvester Wheatsheaf, 1990.

PETRY, J. F. et al. Inovação e difusão de tecnologia na agricultura de várzea na Amazônia. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 23, n. 5, p. 619–635, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rac/a/q49Z5wZhZs7zp3wJgpdXG4f/?lang=pt>. Acesso em: 17 nov. 2025.

PIMENTA, A. C. S. et al. Estudo de caso referente ao aumento na utilização de VANTs na cadeia logística de delivery e varejo. **Revista Eletrônica Anima Terra, Faculdade de Tecnologia de Mogi das Cruzes – FATEC-MC**, n. 15, p. 21–34, 2022. Disponível em: <https://www.fatecmogidascruzes.com.br/pdf/animaTerra/edicao15/artigo3.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2025.

PRIETO-SANDOVAL, V.; JACA, C.; ORMAZABAL, M. Towards a consensus on the circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 179, p. 605–615, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.224>.

QI, Q.; WANG, Z.; LIU, Y.; HUANG, T. Towards sustainable manufacturing: modeling a lean and green supply chain in a circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 134, p. 507–520, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.093>.

RAMIN, A. C.; LIMA, E. C.; BARBOSA, K. V. F. S. **Agricultura de precisão: uso de drones**. Itaporanga: ETEC Frei Arnaldo Maria de Itaporanga, 2021. Disponível em: <http://ric-cps.eastus2.cloudapp.azure.com/bitstream/123456789/7790/3/Agricultura%20de%20precis%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2025.

RASI, J. R. **Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para aplicação em pulverização agrícola**. Monografia (Pós-Graduação em Engenharia Rural). 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Jose-Roberto-Rasi/publication/344138417_DESENVOLVIMENTO_DE_UM_VEICULO_AEREO_NAO_TRIPULADO_PARA_APLICACAO_EM_PULVERIZACAO_AGRICOLA/link/s/5f54da3ba6fdcc9879d161db/DESENVOLVIMENTO-DE-UM-VEICULO-AEREO-NAO-TRIPULADO-PARA-APLICACAO-EM-PULVERIZACAO-AGRICOLA.pdf. Acesso em: 17 nov. 2025.

RIBEIRO, L. S. et al. Agricultura familiar e sustentabilidade rural: um estudo a partir da caracterização de propriedades rurais. **Interações**, v. 24, n. 1, p. 39–44, 2020. DOI: [10.17921/1415-5141.2020V24N1P39-44](https://doi.org/10.17921/1415-5141.2020V24N1P39-44).

RUNGE, C. F. et al. **Ending hunger in our lifetime: food security and globalization**. Washington: IFPRI, 2003.

SALVADOR, R.; BARROS, M. V.; BENTES, J. V.; CARVALHO, M. M. A review of the circular economy in manufacturing sectors: framework, challenges and future research directions. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 32, n. 3, p. 530–558, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2019-0309>.

SANTOS, M. R.; BRITO, J. L. R.; SHIBAO, F. Y. A economia circular e os desafios de sua aplicação no setor industrial. **Colóquio – Revista do Desenvolvimento Regional**, v. 18, n. 1, p. 102–121, jan./jun. 2021. Disponível em: <https://seer.faccat.br/index.php/coloquio/article/view/237>. Acesso em: 27 nov. 2025.

SHARMA, R.; RAGHAVAN, N.; MURTHY, G. S. Circular economy approach in the food supply chain: a review of challenges and opportunities. **Resources, Conservation**

and Recycling, v. 164, p. 105120, 2020. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105120>.

SILVEIRA, G. B.; FARINA, M. C.; SANTOS, I. C. High-technology based startup in agribusiness sector: mapping linkages, products and services. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 61, n. 1, p. e246210, 2022. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/resr/a/VNzWdFRfkvYLB8pDZnTLB/?format=html>. Acesso em: 25 nov. 2025.

SOUZA, J. S. et al. O uso do Arduino para controlar um sistema de irrigação baseado em lógica Et. **Revista FSA (Centro Universitário Santo Agostinho)**, v. 18, n. 7, p. 199–216, 2021. Disponível em:
<http://www4.unifsa.com.br/revista/index.php/fsa/article/view/2342>. Acesso em: 25 nov. 2025.

SUTHERLAND, J. W.; RICHTER, J. S.; GUPTA, S. K.; KANDIL, A. Circular economy and manufacturing systems: a systems perspective. **Procedia CIRP**, v. 98, p. 3–12, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.002>.

VILHA, A. P. M. **Gestão da inovação na indústria brasileira de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos**: uma análise sob a perspectiva do desenvolvimento sustentável. 2009. Tese (Doutorado em Política Científica e Tecnológica) – Universidade Estadual de Campinas. Disponível em:
<https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/441155>. Acesso em: 17 nov. 2025.

WANG, X.; ZHAO, J.; LIU, J. Water footprint and sustainability assessment in food production systems: a review. **Science of the Total Environment**, v. 729, p. 138948, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138948>.

ZERBATO, C.; CORRÊA, R. G.; FURLANI, C. E. A. **Agricultura de precisão**: direcionamento automático de máquinas agrícolas. Curitiba: SENAR AR-PR, 2020. Disponível em: <https://www.sistemaep.org.br/wp-content/uploads/2021/11/PR.0344-Agricultura-de-Precisa%CC%83o-1.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2025.