

Tecnologias em agricultura inteligente: Eficiência e sustentabilidade

Technologies in smart agriculture: Efficiency and sustainability

Tecnologías en agricultura inteligente: Eficiencia y sostenibilidad

Recebido: 07/02/2024 | Revisado: 12/04/2024 | Aceitado: 15/04/2024 | Publicado: 18/04/2024

Kamila Cristina de Credo Assis

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4016-2541>

Instituto de Tecnologia, Brasil

E-mail: kamila.assis@fit-tecnologia.org.br

Jane Piantoni

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2560-0056>

Instituto de Tecnologia, Brasil

E-mail: jane.piantoni@fit-tecnologia.org.br

Rodrigo Ferraz Azevedo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2635-5339>

Instituto de Tecnologia, Brasil

E-mail: rodrigo.ferraz@fit-tecnologia.org.br

Resumo

O aumento populacional exige uma demanda crescente por alimentos e exerce uma pressão cada vez maior nos recursos naturais. Para fornecer alimento para as próximas gerações as atividades agrícolas devem se tornar cada vez mais produtivas e sustentáveis. As tecnologias digitais surgem como grandes aliadas ao desenvolvimento agrícola sustentável, aumentando a produtividade, reduzindo a emissão de poluentes e melhorando conservação dos recursos naturais. Na agricultura, a automação de máquinas e implementos, aliada ao uso de tecnologias de informação para a aquisição de dados e no gerenciamento do sistema de produção, são os principais tópicos utilizados para formar um sistema de manejo conhecido como Agricultura de Precisão (AP). Essas novas tecnologias, algumas em desenvolvimento e outras já operacionais, têm figurado como assunto recorrente na comunidade científica atual. Neste trabalho, busca-se compreender quais tecnologias emergentes tem tido destaque recentemente na atividade agrícola e quais são os avanços e desafios que tais tecnologias encontram. A pesquisa indicou que tecnologias como: Internet das Coisas (IoT), Robótica, Inteligência Artificial e (Big Data) estão sendo amplamente utilizados com resultados promissores para o setor agrícola. No entanto, ainda existem importantes desafios para que a transformação digital possa integrar as diferentes classes e regiões agrícolas de ordem científica, tecnológica, social e econômica.

Palavras-chave: Agricultura Digital; IoT; IA; TIC's.

Abstract

Population growth requires an increasing demand for food and puts increasing pressure on natural resources. To provide food for the next generations, agricultural activities must become increasingly productive and sustainable. Digital technologies emerge as great allies for sustainable agricultural development, increasing productivity, reducing pollutant emissions and improving the conservation of natural resources. In agriculture, the automation of machines and implements, combined with the use of information technologies for data acquisition and production system management, are the main topics used to form a management system known as Precision Agriculture (AP). These new technologies, some in development and others already operational, have been a recurring topic in the current scientific community. In this work, we seek to understand which emerging technologies have recently been highlighted in agricultural activity and what advances and challenges these technologies face. The research indicated that technologies such as: Internet of Things (IoT), Robotics, Artificial Intelligence and (Big Data) are being widely used with promising results for the agricultural sector. However, there are still important challenges for digital transformation to integrate different scientific, technological, social and economic agricultural classes and regions.

Keywords: Digital agriculture; IoT; AI; ICTs.

Resumen

El crecimiento demográfico exige una demanda cada vez mayor de alimentos y ejerce una presión cada vez mayor sobre los recursos naturales. Para proporcionar alimentos a las próximas generaciones, las actividades agrícolas deben volverse cada vez más productivas y sostenibles. Las tecnologías digitales emergen como grandes aliadas para el desarrollo agrícola sostenible, aumentando la productividad, reduciendo las emisiones contaminantes y mejorando la conservación de los recursos naturales. En la agricultura, la automatización de máquinas e implementos, combinada con el uso de tecnologías de la información para la adquisición de datos y la gestión de sistemas de producción, son los principales temas utilizados para conformar un sistema de gestión conocido como Agricultura de Precisión (AP).

Estas nuevas tecnologías, algunas en desarrollo y otras ya operativas, han sido un tema recurrente en la comunidad científica actual. En este trabajo buscamos comprender qué tecnologías emergentes se han destacado recientemente en la actividad agrícola y qué avances y desafíos enfrentan estas tecnologías. La investigación indicó que tecnologías como: Internet de las Cosas (IoT), Robótica, Inteligencia Artificial y (Big Data) están siendo ampliamente utilizadas con resultados prometedores para el sector agrícola. Sin embargo, todavía existen desafíos importantes para que la transformación digital integre diferentes clases y regiones agrícolas científicas, tecnológicas, sociales y económicas.

Palabras clave: Agricultura digital; IoT; AI; TIC.

1. Introdução

O sucesso da expansão agropecuária ocorrida principalmente durante o século 20 pode ser atribuído à utilização de organismos modificados, utilização expressiva de insumos como adubos, produtos fitossanitários e ao incremento de maquinários e sistemas de irrigação no ambiente rural (Henriques, 2011). Esse modelo de agricultura convencional maximizou a produção e produtividade agrícola, todavia, representou um agravamento relevante dos impactos ambientais da atividade, já que, atualmente, a agricultura é quem mais utiliza água potável e é responsável por cerca de 20% das emissões de gás carbônico na atmosfera (Basso et al., 2019).

A necessidade crescente de alimentos, energia e água devido a fatores como o crescimento populacional, urbanização desregulada, aumento da expectativa de vida e fatores econômicos levam grandes exportadores agrícolas como o Brasil, a enfrentar desafios de uma produção que satisfaça essa procura (Tripicchio et al., 2015). No entanto, esse aumento de produção não poderá ser pautado no mesmo molde da agricultura convencional, ou seja, através do aumento da área plantada, utilização exacerbada de insumos e no agravamento dos impactos ambientais.

Nessa complexa interação de variáveis econômicas, ambientais e sociais da produção agrícola, as tecnologias digitais surgem como grandes aliadas ao desenvolvimento agrícola sustentável, aumentando a produtividade, retirando profissionais de atividades insalubres, melhor controle de emissão de poluentes e melhor conservação dos recursos naturais (Bolfea et al., 2017).

A utilização dessas tecnologias digitais tem gerado impactos positivos nas cadeias de produção e consumo, levando ao desenvolvimento de países que investem nessa área (World Competitiveness Report, 2020). Essa transformação pode ser entendida como interdisciplinar e transversal, não limitada a regiões, cultivos ou classes sociais. Seus potenciais benefícios promovem novas abordagens e aplicações para fabricantes de insumos, produtores rurais, processadores, distribuidores e consumidores (Bolfea et al., 2020).

O processo de produção agrícola do futuro será caracterizado pela integração dos avanços agronômicos, como por exemplo, grandes bases de dados agrícolas (*Big Data*), Inteligência Artificial (IA), tecnologias inovadoras em sensores, dados coletados por satélites, veículos aéreos não tripulados (VANT), máquinas e robôs autônomos, *softwares* e plataformas de computação em nuvem em geral, disponibilidade de recursos computacionais, especialmente armazenamento e processamento, que dispensa o gerenciamento ativo direto do usuário final. (Basso et al., 2019).

Na agricultura, a automação de máquinas e implementos, aliada ao uso de tecnologias de informação para a aquisição de dados e no gerenciamento do sistema de produção, são os principais tópicos utilizados para formar um sistema de manejo conhecido como Agricultura de Precisão (AP). Essas novas tecnologias, algumas em desenvolvimento e outras já operacionais, têm figurado como assunto recorrente na comunidade científica atual. Concentrar-se nos principais avanços tecnológicos aplicados ao desenvolvimento agrícola e explorar como estão sendo empregues tais tecnologias e suas integrações nos últimos anos, são as principais motivações deste trabalho.

2. Metodologia

Esta revisão descritiva se concentrará em examinar as novas tecnologias que estão sendo aplicadas ao agronegócio. O objetivo é compreender como essas tecnologias estão sendo implementadas, seus impactos no setor agrícola e as tendências emergentes nesse campo.

Para conduzir a extração de dados serão realizadas buscas nas plataformas Scielo, Capes, Elsevier e Google Acadêmico utilizando os termos: "Agricultura Digital", "Agricultura 4.0", "Agricultura de Precisão", combinados com palavras-chave relevantes, como "Internet das Coisas (IoT)", "Big Data", "Sensoriamento Remoto", "Automatização Agrícola", entre outros. Os dados relevantes serão extraídos dos estudos selecionados, incluindo informações sobre as tecnologias agrícolas abordadas, métodos de implementação, resultados e conclusões.

Os critérios de inclusão e exclusão são estabelecidos para orientar a seleção dos estudos a serem considerados na revisão. Os estudos incluídos devem ser publicados nos últimos 10 anos (de 2014 a 2024) e estar disponíveis em português, inglês ou espanhol. Além disso, os estudos devem se concentrar em tecnologias emergentes aplicadas ao setor agrícola e ter texto completo disponível. Estudos duplicados, fora do escopo temático ou com qualidade metodológica duvidosa serão excluídos.

Após a triagem e seleção dos estudos, os dados serão analisados para identificar padrões, tendências e lacunas na literatura sobre novas tecnologias para o agronegócio. Os resultados serão discutidos em relação aos impactos das tecnologias emergentes no setor agrícola, bem como suas implicações para a produtividade, sustentabilidade e competitividade.

3. Resultados e Discussão

No cenário da agricultura digital, também conhecida como Agricultura 4.0, diversas tecnologias destacam-se e, em conjunto têm ajudado a solucionar questões relacionadas a eficiência, produtividade e sustentabilidade da cadeia produtiva do agronegócio (Pivoto et al., 2019). Dentre as tecnologias com diversos exemplos de aplicações e possibilidades no setor agrícola, e que foram identificadas nas principais plataformas de difusão científica, destacam-se o uso de IA, IoT, Robótica, Big Data, Visão Computacional e Aprendizado de Máquina.

3.1 Internet das Coisas (IoT)

Entre as tecnologias emergentes com potencial de aplicabilidade em diferentes segmentos, destaca-se IoT (do inglês, Internet of Things), também conhecida como Internet das Coisas, que emergiu dos avanços de várias áreas como sistemas embarcados, microeletrônica, comunicação e sensoriamento. Com a finalidade de conectar qualquer objeto à internet, a IoT possibilita que esses objetos colem e transmitam dados em tempo real, por meio de sensores a eles embarcados conectados a internet. Neste sentido, conectar esses objetos com diferentes recursos à internet significa criar a Internet das Coisas (Hassan et al., 2020; Lara et al., 2021).

O uso da IoT é a primeira evolução real da Internet e é um salto significativo em aplicação social, com potencial de melhorar a forma como as pessoas vivem, trabalham, estudam e se divertem. As possibilidades e perspectivas do uso da IoT são abrangentes e interdisciplinares, indo desde aplicações bastante triviais até as invenções futuristas e desafiadoras do senso comum (Rosa et al., 2020).

A Internet das Coisas (IoT) é uma rede de “coisas”, que são objetos físicos incorporados a sensores, software e outras tecnologias com a finalidade de conectar e trocar dados com outros dispositivos e sistemas pela Internet (Queiroz et al., 2020). No meio rural, estes dados são as principais ferramentas para o planejamento agrícola e tomada de decisão. A aplicação da tecnologia IoT possibilita inúmeros benefícios como monitoramento em tempo real das condições climáticas, das

características físicas, químicas e biológicas do solo, monitoramento de pragas, doenças e plantas daninhas, crescimento da plantação, desempenho de máquinas agrícolas e monitoramento da saúde e bem-estar animal (Hassan et al., 2021).

A partir da análise desses dados, espera-se que seja possível otimizar a utilização de produtos fitossanitários, de modo que seu uso seja direcionado somente aos locais de presença de insetos, patógenos ou plantas daninhas que configurem risco à produtividade. Espera-se ainda que, por meio da interpretação dessas informações, seja possível fazer escolhas mais assertivas em relação à data de plantio e colheita, otimização da utilização dos recursos hídricos, gasto de combustível e mão de obra (Khanal et al., 2017).

Intervenções assertivas possibilitadas pela análise de dados obtidos por sensores, têm o potencial de reduzir significativamente os custos associados à mão de obra e ao uso de insumos como óleo diesel, adubos, herbicidas, inseticidas e fungicidas. Fato esse que contribui para a minimização de impactos negativos ao meio ambiente, já que a aplicação localizada reduz a quantidade de produtos químicos utilizados, a quantidade de água e a emissão de carbono pela queima do combustível fóssil (Wolfert et al., 2017).

A tecnologia em IoT avançou muito nos últimos anos em diferentes segmentos, sobretudo no setor agrícola. Inúmeros são os desafios para o empreendimento da IoT, entre eles podemos destacar, a necessidade de infraestrutura adequada, como conectividade e energia, além de questões técnicas, como a capacitação de recursos humanos. Estudos e estratégias de atendimento às demandas sociais e humanas são primordiais nos propósitos e processos de inserção e consolidação neste ambiente (Elijah et al., 2018).

O uso dessa tecnologia na agricultura, embora em estágios iniciais, sinaliza um movimento que visa revolucionar a forma como a agricultura é planejada, executada e gerida, alinhando-a às novas demandas tecnológicas do século XXI. Busca-se permanentemente novas aplicações e soluções de IoT na agricultura, de forma a abranger uma gama mais ampla de atividades e regiões. Essa imperatividade é movida pela compreensão de que as inovações tecnológicas, como a IoT, são os alicerces para a modernização da agricultura e aumento de produtividade através de uma melhor gestão dos recursos e informações, impulsionando eficiência e capacidade produtiva (Rodrigues et al., 2023).

3.2 Inteligência Artificial

A inteligência artificial não é uma novidade; sua origem se dá na década de 1950, quando discussões sobre como simular o raciocínio humano por meio computacional começaram a surgir (Durkin, 1994). No entanto, a tecnologia ganhou força com o desenvolvimento de tecnologias complementares como IoT e Big Data (Moreti et al., 2021).

A Inteligência Artificial é uma tecnologia emergente que busca desenvolver sistemas capazes de realizar tarefas que normalmente exigiriam inteligência humana. Através da IA, pode-se projetar sistemas capazes de aprender com os dados, adaptar-se a novas informações, auxiliar na resolução de problemas e na tomada de decisões, além de possibilidades relacionadas a percepção visual e reconhecimento de voz, entre outras. Destaca-se pela adaptação flexível e pela capacidade de analisar grandes volumes de dados, oferecendo precisão e rapidez no tempo de resposta, atuando de forma colaborativa com o profissional (Kaplan & Haenlein, 2019; Teixeira, 2014).

As estratégias atuais na busca pela implantação de soluções de IA em campos práticos, como a agricultura, podem ser classificadas em duas frentes principais. A primeira é a necessidade de implantar um agente tecnológico para atuar de maneira humana na tomada de decisões em processos complexos. A segunda é ter um agente que supere o ser humano na capacidade de executar determinada tarefa, não só em tempo hábil, mas também com maior precisão (Megeto et al., 2020).

Para retornar ao usuário instruções, informações (análises estatísticas e sistêmicas), previsões e suporte na tomada de decisões, a IA requer que uma máquina receba dados em seu ambiente computacional. Ao receber esses dados, a IA pode

realizar o monitoramento em tempo real das atividades de forma autônoma, analisando ou combinando, além de realizar previsões baseadas na aprendizagem obtida a partir dos dados (Hutson, 2017).

No setor agrícola, esses dados tendem a ser fornecidos através de sensores IoT, satélite, estações meteorológicas, entre outros dispositivos" ou "fornecidos através de sensores IoT, satélite, estações meteorológicas etc. O processamento adequado dessas informações pode auxiliar os sistemas de gerenciamento da cadeia produtiva agrícola a reduzir custos, seja por redução na utilização de insumos, seja otimizando tarefas e processos, aumentando a sustentabilidade da atividade (Talaviya et al., 2020).

O setor agrícola depende de ideias inovadoras e avanços tecnológicos para ajudar a aumentar a produtividade e alocar melhor os recursos visto que a atividade é muito dependente de condições ambientais, mão de obra e insumos. Nesse cenário, o desenvolvimento de novas tecnologias que minimizem o efeito dessas oscilações tem sido objeto de desejo de todo o setor. O número de *startups*, empresas que oferecem soluções para o campo, desde aplicativos para monitoramento de lavouras, uso de *drones*, aplicações de IoT e IA, continua a crescer diariamente, atraindo a atenção de investidores nacionais e internacionais (Zhai et al., 2020).

3.2.1 Visão Computacional

A Visão Computacional (do inglês, *Computer Vision*) é um campo da Inteligência Artificial que permite aos sistemas computacionais adquirir, processar e interpretar informações visuais do ambiente, de maneira a emular ou superar a capacidade humana (Mavridou et al., 2019).

Através da utilização de dados de imagens obtidas por sensores, câmeras ou vídeos, a visão computacional faz uso de algoritmos e modelos para análise e compreensão de dados, simulando a percepção visual humana na interpretação do mundo real. Estes sistemas podem utilizar de diferentes técnicas de captura de imagens que representam informações de diferentes partes do espectro eletromagnético, como por exemplo, imagens multiespectrais (Gonzalez et al., 2009).

A visão computacional normalmente inspeciona de acordo com o fim específico. No entanto, alguns estágios são comuns a maiorias dos sistemas baseados nessa tecnologia: aquisição de imagens, pré-processamento, rotulação, treinamento do modelo e avaliação do desempenho (Rodenacker; Bengtsson, 2003).

A aquisição baseia-se na captura e conversão de uma imagem real em digital utilizando os dispositivos citados previamente. O pré-processamento consiste em filtrar os conhecimentos adquiridos com a imagem e destacando as características ou regiões de interesse, removendo assim distorções e ruídos. Já a rotulação, refere-se ao processo de associar rótulos ou etiquetas (*label*) a imagens. Esses rótulos servem para identificar e categorizar informações específicas presentes nas imagens, atribuindo a elas uma classe ou característica de interesse do processo de aprendizado. A etapa de treinamento do modelo envolve a apresentação do conjunto de dados rotulado ao algoritmo de aprendizado. Nesta etapa, o modelo ajusta seus parâmetros internos com base nos rótulos fornecidos, de maneira a aprimorar sua capacidade de reconhecer padrões e características específicas nas imagens (Gomes & Leta, 2012).

Na última etapa, ocorre a avaliação do desempenho do modelo, a partir do teste em um conjunto de dados não vistos anteriormente. Esse processo permite verificar a capacidade do modelo de generalizar seu aprendizado, avaliando sua precisão e eficácia na classificação ou detecção de objetos de imagens. Nessa interpretação as características extraídas podem ser morfológicas, texturais, estruturais e cromáticas. As características morfológicas consistem em medir as formas dos objetos que compõem a imagem. As propriedades cromáticas são aquelas que descrevem a cor ou a composição espectral da radiação emitida ou refletida pelos objetos, em diferentes bandas espectrais. As texturais, consistem nas medições que caracterizam o local a partir da variabilidade das intensidades dos pixels e as estruturais descrevem a relação entre um ou mais objetos que compõem a imagem (Hestand et al., 2020).

Na atividade agrícola essas imagens fornecem em tempo real informações precisas da lavoura e suas necessidades. Hoje, a tecnologia já é utilizada para apoiar diversas tarefas dentro da agricultura de precisão como: monitoramento e fenotipagem das culturas, controle de plantas invasoras, colheita e orientação veicular (Sun et al., 2017).

O principal entrave para adoção da tecnologia na atividade agrícola é que para utilizar a visão computacional com eficiência são necessários conjuntos de dados recolhidos em condições de campo realistas para alimentar os sistemas de aprendizagem de modo que o sistema consiga identificar e caracterizar diferentes ocorrências e variáveis envolvidas no processo produtivo (Mitchell, 2006).

Nesse contexto, tem ocorrido um aumento rápido das publicações e inovações nessa linha devido à expansão de conjuntos de dados de imagens públicas sendo fornecidos através de parcerias entre instituições públicas, privadas e periódicos científicos levando a avanços notáveis principalmente na taxonomia e fenologia geralmente sob condições controladas.

3.2.1.1 Aprendizado de Máquina

O Aprendizado de Máquina (do inglês, *Machine Learning* – ML) é uma subárea da IA que explora o estudo e a construção de algoritmos computacionais a partir do aprendizado advindo de dados ou experiências prévias. Em outras definições, é o campo científico que dá às máquinas a capacidade de aprenderem sem que exista uma programação prévia (Samuel, 2000; Patil & Banyal, 2019).

Soluções desenvolvidas a partir das tecnologias como ML e Big Data, têm criado oportunidades de compreender e analisar processos com uso intensivo de dados. Sua aplicação está presente em diversos campos científicos como: bioinformática, medicina, meteorologia, robótica e agricultura (Schnfeld et al., 2018).

Aplicações recentes de técnicas de aprendizado de máquina fornecem soluções para problemas de modelagem de decisões específicas dos sistemas agrícolas que são caracterizados por não linearidade, características variáveis no tempo e numerosos elementos desconhecidos (Liakos et al., 2018).

As principais dificuldades para a produção agrícola incluem o processo de tomada de decisão, a seleção das culturas e os sistemas de apoio para melhorar a produção agrícola. A previsão agrícola é influenciada por variáveis como temperatura, fertilidade do solo, disponibilidade de água, qualidade e estação da água, preço da colheita, entre outras. Neste contexto, é possível utilizar técnicas de Aprendizado de Máquina (ML) para realizar uma análise multivariada de maneira que se possa obter o um entendimento mais amplo sobre os dados e identificar alternativas para maximizar dos dados a eficiência em cada componente da produção agrícola (Hein & Silva, 2019).

3.3 Robótica

Entre os principais desafios que a agricultura enfrenta durante esse século está a escassez de mão de obra qualificada. Esse fato se deve principalmente a urbanização que começou no século passado e que perdura até os dias atuais. Para resolver o problema da escassez de mão-de-obra e da diminuição de trabalhadores agrícolas qualificados, pensa-se que a robótica desempenhará um papel importante nos próximos anos (Mataric, 2014).

A robótica é o termo utilizado para indicar a disciplina associada ao uso e programação de robôs. A Engenharia Robótica refere-se à construção de robôs e dispositivos robóticos. Um robô é um sistema autônomo que está no mundo físico e sente o ambiente a sua volta, tem capacidade de identificar um problema e agir sobre ele de acordo com o objetivo da sua concepção (Hiremath et al., 2014). Segundo Hasegawa (2009) os principais componentes de um robô são sua estrutura física, seus sensores para perceber o ambiente e os componentes necessário à sua ação, bem como controladores para configurar essa autonomia.

Ao contrário das aplicações industriais que lidam com tarefas relativamente simples, repetitivas, bem definidas e predeterminadas em ambientes estáveis e replicáveis, as aplicações agrícolas para automação e robótica requerem tecnologias avançadas para lidar com ambientes e produção complexos e altamente variáveis (HACKENHAAR et al., 2015). O robô agrícola, de acordo com Bechar e Vigneault (2016) é aquele que combina tecnologias agrônômica, mecânica, eletrônica, da informação e de inteligência artificial e hoje é um dos maiores focos das pesquisas em máquinas agrícolas.

A tecnologia robótica com fins agrários avançou muito nos últimos anos. Diversos equipamentos robóticos foram desenvolvidos com a missão de auxiliar as tarefas diárias agrícolas. O uso de robôs na agricultura é visto em diversas partes que compõem o todo como colheita, no plantio, robôs que fornecem para a planta insumos na quantidade necessária e realiza a irrigação e os robôs pulverizadores (Ollero & Castaño, 2009).

Dentre os desafios da robótica móvel atual, pode-se citar: o dimensionamento correto da fonte de energia para poder atuar e se movimentar na prática; a correta percepção do mundo em sua volta, ou seja, estar ciente de outros objetos ao seu redor a fim de evitar colisões; e as limitações de sua construção física na locomoção, no posicionamento dos sensores e na forma de interagir com o mundo (Oliveira, 2021).

Na área agrícola apesar das diversas subdivisões de tipos de robôs, os mais utilizados são os móveis do tipo terrestre com rodas, terrestre com pernas e aéreos. Os robôs móveis são aqueles capazes de se locomover em um ambiente em que estão inseridos para completar uma determinada tarefa, sendo definido como autônomo, quando ele possui habilidade de tomar decisões sem supervisão humana, a partir das informações do ambiente. São utilizados em diversas aplicações como inspeção, busca, resgate, trabalhos perigosos e cansativos (Grimstad et al., 2015).

Os robôs com pernas ou com rodas apresentam bastante limitações técnicas. Os com pernas, podem se locomover em zonas declivosas, no entanto normalmente as pernas são pesadas devido ao grande número de atuadores e possuem baixa capacidade de transportar carga. Os com rodas, apresentam baixa flexibilidade quanto a topografia e maiores dificuldades de sincronização do atuador ao sistema locomotivo (Puri et al., 2017).

Já os robôs aéreos, drones, estão mais consolidados, apresentam um maior espaço na Agricultura 4.0 e isso se deve pela sua eficiência, eficácia e rapidez ao realizar um serviço. Vale ressaltar também no leque de funções que o drone retorna ao usuário, como mapeamento geográfico, leitura térmica entre outros (IBM, 2011).

3.4 Big Data

O aumento do acesso a dispositivos eletrônicos neste século e a popularização da Internet e de equipamentos interligados a rede aumentou a quantidade de dados gerados pelo homem em suas atividades de forma exponencial e modificou a forma como esses dados são armazenados. Neste contexto no ano 2000, 25% dos dados eram digitalizados, em 2013 esse valor já ultrapassava 98% (Nature Food, 2020).

Esse grande volume de dados produzidos contém *insights* valiosos sobre clientes, operações, mercado e tendências dele. A partir da análise de dados é possível tomar decisões mais assertivas e estratégicas e observar oportunidades de crescimento, otimizar processos e personalizar serviços e produtos de acordo com a demanda (Gandomi & Haider, 2015).

O termo *Big Data* surgiu como nomenclatura a esse volume de dados com bastante variedade, chegando sempre em volumes crescentes e com mais velocidade que um software tradicional é capaz de processar e gerenciar (Saldanha et al., 2021). Nesse contexto, segundo Faria et al. (2021) o termo “*Big Data Analyst*” vem se consolidando como um campo de convergência tecnológica, científica, acadêmica e pragmaticamente interdisciplinar, formado, basicamente, por cientistas com capacidade de auxiliar a descoberta de informação útil a partir dessas grandes e complexas bases de dados.

O tratamento dos dados é realizado a partir de algoritmos, que são sequências de instruções que permitem que se analise e extraia informações desse banco de dados. Acredita-se que as ferramentas em Big data representarão para as empresas e sociedade a mesma importância que o microscópio representou à medicina (Taurion, 2013).

Comparado com outros domínios, o setor agrícola é caracterizado por uma eficiência operacional relativamente baixa. O setor tem grande interesse em *Big Data*, pois isso possibilita construção de modelos de negócios preditivos para cada aspecto da agricultura, que tradicionalmente é marcada pela imprevisibilidade. Na agricultura isso assinalaria uma mudança profunda na autonomia dos agricultores, empresas agrícolas e sociedade (Kamble et al., 2020).

As cadeias agrícolas se estendem por vastas áreas geográficas e são vulneráveis a muitos riscos globais, então a previsão poderia ajudar a minimizar os riscos e aumentar a eficiência. Os proponentes do *Big Data* prometem um nível de precisão, armazenamento, processamento e análise de informações que antes era impossível devido às limitações tecnológicas (Kuo & Kusiak, 2019).

O sucesso de uma atividade agrícola engloba um conjunto muito extenso de variáveis e as aplicações da tecnologia de dados em estimativas de produção e rendimento agrícola, mapeamento de terras, previsão meteorológica e segurança alimentar requerem grandes volumes e confiabilidade de dados. O reconhecimento das doenças e da má nutrição das plantas exige ainda alta velocidade, bem como as decisões, que precisam de ser tomadas em tempo (quase) real (Kamilaris et al., 2017).

Em geral, a análise de dados na agricultura ainda está numa fase de desenvolvimento inicial, e isso pode ser inferido a partir do atualmente limitado número de publicações científicas e iniciativas comerciais quando comparada com outras áreas de investigação que utilizam *Big Data* (Sawant & Jawale, 2016). No entanto, esse número é crescente, evidenciando o grande potencial da *Data Science* aplicada ao domínio agrícola.

Um dos principais entraves recentes da utilização dessa tecnologia em ambiente agrícola é sobre quem deterá o poder, acesso a esses dados e quem poderá monetizá-lo. Produtores, empresas e vários outros agentes da cadeia se preocupam com o uso indevido de informações relacionados ao seu manejo e sua tecnologia caia nas mãos de concorrentes (Sykuta, 2016). O autor ainda cita que o desequilíbrio tecnológico entre países desenvolvidos e em desenvolvimento e entre agricultores grandes e bem instruídos e os agricultores familiares limitam a disponibilidade de infraestrutura e recursos humanos confiáveis para coletar e analisar *Big Data*.

4. Considerações Finais

O panorama previsto para os próximos cinquenta anos é crítico, população mundial atingindo 9 bilhões de habitantes, escassez de recursos como terra, água, energia e as consequências do aquecimento global. Neste cenário, assim como em toda a história da humanidade, a agricultura mundial ocupará papel de destaque, tendo que garantir a segurança alimentar e fornecer a sociedade outras matérias-primas necessárias para o bem-estar humano.

A agricultura é uma atividade bastante dependente de recursos e do clima. Considerando a finitude de insumos como adubos e agroquímicos, a pressão pelo uso da água e da terra que enfrentaremos num futuro próximo é urgente se pensar num modelo de gestão mais eficiente da atividade rural. Desta forma, faz-se necessário avanços em tecnologias da informação podem apresentar bastante potencial de auxiliar essa busca por eficiência e sustentabilidade no campo.

A agricultura digital, emprega métodos computacionais de alto desempenho, rede de sensores, comunicação máquina para máquina (M2M), conectividade entre dispositivos móveis, computação em nuvem, métodos e soluções analíticas para processar grandes volumes de dados e construir sistemas de suporte à tomada de decisões de manejo. Além disso, contribui para elevar os índices de produtividade, da eficiência do uso de insumos, da redução de custos com mão de obra, melhorar a qualidade do trabalho e a segurança dos trabalhadores e diminuir os impactos ao meio ambiente.

Existem importantes desafios para que a transformação digital possa integrar as diferentes classes e regiões agrícolas de ordem científica, tecnológica, social e econômica a serem superados. Nesse cenário são inúmeras as oportunidades para que institutos de pesquisa, universidades, empresas, *startups*, cooperativas, associações e sindicatos gerem soluções digitais mais integradas para planejamento, manejo, colheita e comercialização de produtos agrícolas.

Agradecimentos

Este projeto foi apoiado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, com recursos da Lei nº 8.248, de 23 de outubro de 1991, no âmbito do PPI-SOFTEX, coordenado pela Softex e publicado Residência em TIC 03 - Aditivo, DOU 01245.013770/2020-64.

Referências

- Basso, L. H., Inamasu, R. Y., Bernardi, A. C. C., Vaz, C. M. P., Speranza, E. A. & Cruvinel, P. E. (2019) Agricultura de precisão e agricultura digital. *Teccogs - Revista Digital de Tecnologias Cognitivas*, 17-36.
- Bechar, A. & Vigneault, C. (2016) Agricultural robots for field operations: Concepts and components. *Biosystems Engineering*, 149, 94-111.
- Bolfea, E. L., Jorge, B. A. C. & Sanchesc, I. D. (2021) Tendências, desafios e oportunidades da Agricultura Digital no Brasil. *RECoDAF – Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar*, 7(2): 15-36.
- Bolfea, E. L., Jorge, L. A. C., Sanches, I., Costa, C. C. Da; Luchiani Jr., A., Victória, D., Inamasu, R., Grego, C., Ferreira, V. & Ramirez, A. (2020) *Agricultura digital no Brasil: tendências, desafios e oportunidades: resultados de pesquisa Online*. Campinas: Embrapa. 44 p.
- Durkin, J. (1994) *Expert Systems Design And Development*. Prentice Hall.
- Elijah, O., Rahman, T. A., Orikumhi, I., Leow C. Y. & Hindia, M. H. D. N. (2018) An overview of internet of things (Iot) And Data Analytics In Agriculture: Benefits And Challenges *IEEE Internet Things J.* 5(5): 3758-3773.
- Faria, L., Oliveira, F. S., Pinto, P. E. D. & Szwarcfiter, J. L. (2021) *Ciência de dados: Algoritmos e aplicações*. Rio de Janeiro: IMPA, 272p.
- Gandomi, A. & Haider, M. (2015) Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics. *International Journal of Information Management*, 35, 137-144.
- Gomes, J. F. S. & Leta, F. R. (2012) Applications of computer vision techniques in the agriculture and food industry: a review. *Eur Food Res Technol*, 235, 989-1000.
- Gonzalez, R. C., Woods, R. E. & Eddins, S. L. (2009) *Digital image processing using MATLAB*, 2nd edn. Gatesmark Publishing, Knoxville.
- Grimstad, L. C. D., Pham, H. T. & Phan E P. J. Sobre o design de um robô agrícola de baixo custo, leve e altamente versátil. (2015) Workshop Internacional IEEE sobre Robótica Avançada e seus Impactos Sociais (ARSO), Lyon , França, 1-6.
- Hackenhaar, N. M., Hackenhaar, C. & Abreu, Y. V. (2015). Robótica na agricultura. *INTERAÇÕES*, 16(1): 119-129.
- Hasegawa, Y. (2009) Avanços em Robótica e Automação: Perspectivas Históricas. In: Nof, S. (eds) *Manual de Automação Springer. Manuais Springer*. Springer. Berlim, Heidelberg.
- Hassan, R., Qamar, F., Hasan, M. K., Aman, A. H. M. & Ahmed, A.S. (2020) Internet of Things and Its Applications: A Comprehensive Survey. *Symmetry*, 12,1674.
- Hassan, S. I., Alam, M. M., Illahim, U., Al Ghamdi, M. A., Almotiri, S. H., Mohd Su'Ud, M. A Systematic Review on Monitoring and Advanced Control Strategies in Smart Agriculture. *EEE Access*, 9, 32517-32548.
- Hein, A. F. & Silva, N. L. S. (2019). A insustentabilidade na agricultura familiar e o êxodo rural contemporâneo *Estudos Sociedade e Agricultura*, 27(2): 394-417.
- Henriques A. B. (2011) A moderna agricultura no final do século XIX em São Paulo: algumas propostas. *História [Internet]*, 30(2), 359-380.
- Hestand, T. D. M., Nogales, C., Allen, B. & Colwell, J. (2020) Machine vision system for orchard management. In: Sergiyenko, O., Flores-Fuentes, W., Mercorelli, P. (Eds.), *Machine Vision and Navigation*. Springer, Switzerland, 197-240.
- Hiremath, S. A., Wam Van Der, G., Van Evert, F. K., Stein, A. & Ter Braak, C. J. F. (2014) Laser range finder model for autonomous navigation of a robot in a maize field using a particle filter. *Computers and Electronics in Agriculture*, 100, 41-50.
- Hutson, M. (2017) AI Glossary: Artificial intelligence, in so many words. *Science*, 357(6346):19.
- IBM. (2011) *Soluções analíticas e otimização de negócios: A nova vantagem competitiva*. 12p.

- Moreti, M. P., Oliveira T., Sartori, R. & Caetano, W. (2021) Inteligência Artificial no Agronegócio e os desafios para a proteção da propriedade intelectual. *Cadernos de Prospecção*, 14(1):60-77.
- Nature Food. (2020) Systems thinking, systems doing. *Nat. Food* 1, v.12, p.659, 2020.
- Oliveira, V. B. (2021) *Estudo e comparação de tipos de robôs na agricultura para a pulverização de pesticida*. Monografia. Faculdade De Engenharia Elétrica, Universidade Federal De Uberlândia, Patos de Minas. 85p. 2021.
- Ollero, A. & Castaño, Á. R. (2009). Automação de Mobilidade e Navegação. In: Nof, S. (eds) *Manual de Automação Springer*. Manuais Springer. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Patil, G. G. & Banyal, R. K. Techniques of deep learning for image recognition. In 2019 *IEEE 5th International Conference for Convergence in Technology (I2CT)* 2019, 1-5. IEEE.
- Pivoto, D., Barham, B., Dabdab, P., Zhang, D., Talamini, E. (2019) Factors influencing the adoption of smart farming by Brazilian grain farmers. *Int. Food Agribus. Manag. Rev.* 22(4): 571–588.
- Puri, V., Nayyar, A. & Raja L. (2017) Agriculture drones: A modern breakthrough in precision agriculture. *Jourar of Statistics and Management System*, 20(4):507-518.
- Queiroz, D. M., Coelho, A. L. F., Valente, D. S. M. & Schueller, K. (2020) Sensors applied to Digital Agriculture: A review. *Rev. Ciênc. Agron.*, 51, Special Agriculture 4.0.
- Rodenacker, K. & Bengtsson, E. 2003. A feature set for cytometry on digitized microscopic images. *Anal Cell Pathol*, 25(1), 1-36.
- Rodrigues, D. B., Santos, C. J. S. S., Silva, C. B., Rodrigues, F., Alcântara, G. A. M. & Moreira, K. S. (2023) The application of iot (internet of things) in agriculture: a systematic review. *Revista ft*, 125.
- Rosa, C. M., Souza, P. A. R. & Silva, J. M. (2020) Inovação em saúde e internet das coisas (IoT): Um panorama do desenvolvimento científico e tecnológico. *Perspect ciênc inf [Internet]*, 23(3), 164-181.
- Saldanha, R. F., Barcellos, C. & Pedroso, M. M. (2021) Data science and big data: what do these terms mean for population and health related studies? *Cad. Saúde Colet.*, 29,51-58.
- Samuel, A. L. Alguns estudos em aprendizado de máquina utilizando o jogo de damas. (2000) *IBM Journal of Research and Development*, 44(1):206-226.
- Sawant, M., Urkude, R. & Jawale, S. (2016) Organized data and information for efficacious agriculture using PRIDE™ model. *Int. Food. Agribusiness Manag. Rev.* 19,115-130.
- Schnfeld, M., Heil, R. & Bittner, L. (2018) Big Data on a FarmSmart Farming, Big Data in Context: T. Hoeren, B. Kolany-Raiser, Eds, p.109-120.
- Sun, C., Shrivastava, A., Singh, S. & Gupta, A. (2017) Revisiting unreasonable effectiveness of data in deep learning era. In: The IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 843-852.
- Sykuta, M. E. (2016) Big data in agriculture: property rights, privacy and competition in age data services. *International Food and Agribusiness Management Review*, 19(1030-2016-83141), 57-74.
- Talaviya, T., Shah, D., Patel, N., Yagnik, H. & Shah, M. (2020) Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides. *Artificial Intelligence In Agriculture*, 4,58-73.
- Taurion, C. (2013) *Big data*. Rio de Janeiro: Brasport Livros e Multimídia Ltda.
- Teixeira, J. F. (2014) *Inteligência artificial*. 2014. Pia Sociedade de São Paulo-Editora Paulus. 64p.
- Tripicchio, P., Satler, M., Dabisias, G., Ruffaldi, E. & Avizzano, C. A. (2015) Towards smart farming and sustainable agriculture with drones. *Proc. Int. Conf. Intell. Environ.* 140-143.
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C. & Bogaardt, M. J. (2017) Big data in smart farming – a review. *Agricultural Systems*, 153,69-80.
- World Competitiveness Report. World Economic Forum 2020. Disponível em: <https://www.weforum.org/strategic-intelligence/>.
- Zhai, Z., Martínez, J. F., Beltran, V. & Martínez, N. L. (2020) Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170(105256),25-35.