

A inteligência artificial na pesquisa agrícola

Antônio Mauro Saraiva

Fernando Santos Osório

André Freitas Colaço

Debora Pignatari Drucker

Eduardo Mario Mendiando

Fernando Elias Corrêa

Filipi Miranda Soares

José Paulo Molin

Marcos Roberto Benso

Patricia Angélica Alves Marques

Roberto Fray da Silva

Sílvia Helena Galvão de Miranda

Willian França Costa

Alexandre Cláudio Botazzo Delbem

resumo

A agricultura é um dos setores mais importantes da economia, fundamental para prover alimentos, fibras e energia para a humanidade. No Brasil é importante fonte de empregos e para uma balança comercial positiva. É também um dos setores que mais impactam o ambiente, pela mudança do uso do solo e pelas práticas de produção que podem resultar em poluição de solo, água e ar. Para fazer frente à complexidade dos seus processos de produção, a inteligência artificial tem desempenhado um papel cada vez mais importante na pesquisa agrícola, inovação e transformação social. Este texto aborda esse papel em algumas áreas importantes: gestão da água, produção agrícola e cadeias de valor, e a questão dos dados para a pesquisa.

Palavras-chave: inteligência artificial; agricultura; agricultura digital; tomada de decisão.

abstract

Agriculture is one of the most important sectors of the economy, essential for providing food, fiber and energy for humanity. In Brazil, it is an important source of jobs and a positive trade balance. It is also one of the sectors that most impacts the environment, due to changes in land use and production practices that can result in soil, water and air pollution. To face the complexity of its production processes, artificial intelligence has played an increasingly important role in agricultural research, innovation and social transformation. This text addresses this role in some important areas: water management, agricultural production and value chains, and the issue of data for research.

Keywords: artificial intelligence; agriculture; digital farming; decision making.

A

agricultura e a cadeia de produtos e serviços associados são de extrema importância no contexto econômico, social e ambiental no Brasil e no mundo. Diversos fatores impactam a produção agrícola, como o uso de insumos, emprego de novas tecnologias, questões e impactos ambientais, incluindo as mudanças climáticas. Eles afetam a produção de alimentos, sua disponibilidade e custo, e isso é central para a segurança alimentar. É necessário aumentar a produção agrícola, para atender às demandas atuais e de uma população crescente, mas diminuindo seus impactos ambientais, pois eles podem ter consequências na própria agricultura, por exemplo, pela perda de solo, diminuição dos recur-

sos hídricos, mudanças do clima e eventos extremos associados. De fato, o setor agrícola e de alimentos foi considerado como central para o futuro das questões ambientais e de saúde humana e para o futuro da saúde planetária, segundo a *São Paulo Declaration on Planetary Health*, elaborada pela comunidade global de saúde planetária (Myers; Pivor; Saraiva, 2021).

É, portanto, necessário e urgente que se desenvolvam novas abordagens para maximizar a produtividade e minimizar os impactos, para se ter uma produção agrícola sustentável, sem conflito com o meio ambiente.

A agricultura passou por grande evolução desde seus primórdios, e foi marcada pela incorporação de tecnologias e

Os créditos dos autores encontram-se no final do artigo.

inovações. Tem-se, inclusive, proposto denominações como Agricultura 1.0 até Agricultura 5.0 a períodos marcados por tecnologias específicas. Iniciando-se com os métodos mais rudimentares, como o cultivo manual e o uso de ferramentas simples, a agricultura ganhou grande impulso com a introdução de máquinas, como tratores e colhedoras, que aumentaram a capacidade de trabalho, a eficiência e a produtividade. A partir dos anos 1990 houve uma maior adoção de tecnologias da informação e comunicação (TICs), como GPSs e sensores, que viabilizaram a agricultura de precisão, permitindo um monitoramento mais preciso das lavouras e gestão mais eficiente dos recursos. A partir dos anos 2010, uma integração ainda maior entre TIC e agricultura ganha corpo e tecnologias como internet das coisas (IoT), big data e inteligência artificial levaram a uma agricultura mais conectada e automatizada, com drones para monitoramento, sistemas de irrigação inteligentes e análise de dados para tomada de decisões. Dissemina-se, então, a expressão “agricultura digital” e a evolução ocorre, também, no processamento de dados na lavoura, automação dos modelos de produção e de modelos preditivos, e outras inovações tecnológicas (Ahmad; Nabi, 2021).

É nesse ponto que a inteligência artificial tem grande impacto e enorme potencial, por ser capaz de auxiliar em diferentes etapas e processos da produção agrícola, melhorando a produtividade, eficiência e custos, minimizando impactos e aumentando a sustentabilidade. As diversas técnicas da IA permitem o desenvolvimento de sistemas inteligentes capazes de aprender e tomar decisões com base em dados, o que é fundamental na

agricultura. Possibilitam a identificação de padrões complexos em grandes conjuntos de dados, permitindo a previsão de eventos e a tomada de decisão mais eficiente.

Antes de chegar à produção agrícola, a IA tem sido crescentemente aplicada à pesquisa agrícola. A dimensão do setor agrícola e das pesquisas é tal que neste texto abordaremos alguns exemplos dessas aplicações, o suficiente para deixar claros a importância e o potencial a explorar.

IA NA PESQUISA AGRÍCOLA: ALGUNS EXEMPLOS

A questão dos dados agrícolas na pesquisa, desenvolvimento e inovação

O setor agrícola é multidisciplinar, envolve diversos setores da sociedade e é distribuído geograficamente. Isso acentua os desafios enfrentados na gestão de dados na pesquisa agrícola. A falta de padronização e a ineficiência na manipulação de dados (Saraiva et al., 2020) afetam a pesquisa agrícola, fundamental para a tomada de decisões informada e a inovação no agronegócio. De acordo com relatório da CrowdFlower (2016), cientistas de dados gastam cerca de 80% do tempo apenas coletando e organizando dados.

Os princípios FAIR (*findable, accessible, interoperable e reusable*) visam garantir que os dados sejam facilmente encontráveis, acessíveis, interoperáveis e reutilizáveis (Wilkinson et al., 2016). Ao facilitar o acesso, a padronização e o compartilhamento de dados também na

agricultura, os princípios FAIR facilitam o uso de IA e podem acelerar inovações, melhorar as práticas agrícolas e aumentar a sustentabilidade do setor.

No Brasil, a rede GO FAIR Agro Brasil¹ estimula a aplicação dos princípios FAIR em dados agrícolas, promovendo estratégias e parcerias, incentivando o compartilhamento e a reutilização de dados no âmbito dos sistemas de produção e na pesquisa agrícola (Drucker et al., 2021a).

Padrões de metadados, ontologias e *knowledge graphs* (KG) estão emergindo como recursos valiosos na gestão de dados agrícolas e são bons exemplos da aplicação dos princípios FAIR. Uma abordagem estruturada para o gerenciamento de dados no setor agrícola é importante, visando não só à melhoria na precisão e eficiência, mas também à facilitação do acesso e reutilização dos dados cruciais para a pesquisa.

Padrões de metadados são especialmente importantes nesse contexto, pois, ao fornecer descrições detalhadas e padronizadas dos dados, facilitam a localização e compreensão deles, permitindo assim que usuários e sistemas de IA identifiquem de forma eficaz o conteúdo, a origem e o contexto dos dados. Reer et al. (2023) destacam esses benefícios para *AI driven research* e Bakis et al. (2023) abordam a inclusão de metadados na anotação de imagens, com informações sobre os objetos na imagem, suas propriedades visuais, condição da amostra e propriedades técnicas do arquivo digital. Isso permite que cien-

tistas de *machine learning* (ML) filtrem, processem e reconheçam objetos em suas pesquisas. Isso é muito relevante na agricultura, em que o uso de imagens é intenso.

No contexto brasileiro, pesquisadores do Centro de Inteligência Artificial (C4AI-USP) e da Embrapa têm trabalhado no desenvolvimento de um esquema de metadados para a agricultura, o Agriculture and Livestock Metadata Elements Set (Almes Core) (Soares et al., 2022). O primeiro conjunto de metadados foi definido para descrever dados de comercialização agrícola. Na sequência, outros domínios da agricultura devem ser cobertos pelo esquema de metadados. Ele pode ser acessado no GitHub² e é aberto aos interessados na curadoria e evolução do esquema.

É importante destacar que, além dos princípios FAIR, a Food and Agriculture Organization (FAO) também destaca que a IA pode melhorar a governança de dados na segurança alimentar e segurança nutricional, desde que sejam seguidos e promovidos os princípios conhecidos como CARE (“benefício coletivo”, “autoridade para controlar a gestão de dados”, “responsabilidade”, “ética”) (FAO, 2023; FAO; ITPGRFA, 2023).

A prática dos dados abertos, porém, esbarra em questões culturais, políticas e mesmo em estratégias (Fairbairn; Kish, 2023). Dados do setor privado em geral enfrentam a desconfiança e o temor de vazamento e de abrir caminho para investigações fiscais ao quebrar segredos de opções estratégicas. Um contraexemplo

1 Disponível em: <https://go-fair-agro.github.io/>. Acesso em: 29/jan./2024.

2 Disponível em: <https://github.com/AlmesCore/AlmesCore>. Acesso em: 25/jan./2024.

positivo a destacar é o caso do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea) da USP³, em que a confiança das empresas na universidade superou essas barreiras. Elas compartilham dados confidenciais que são utilizados de modo agregado para a composição de importantes indicadores de mercado.

No setor público, apesar da existência da Lei de Acesso à Informação (LAI) (Brasil, 2011), que visa promover a transparência e facilitar o acesso a dados governamentais, ainda se observa uma forte resistência ao compartilhamento de dados. Essa resistência pode ser atribuída, em parte, ao receio de expor falhas metodológicas ou vulnerabilidades que possam comprometer de alguma forma as instituições ou órgãos envolvidos. Contudo, é essencial reconhecer que a exposição e o debate aberto sobre tais falhas poderiam ser encarados como oportunidades para aprimorar processos, aumentar a relevância dos dados e das instituições responsáveis, e promover uma cultura de melhoria contínua e transparência.

Gestão da água e mudanças climáticas

A agricultura é a principal consumidora de água do mundo, responsável por 87% do consumo global de água, e 60% de toda a retirada global de água doce vai para irrigação (Wu et al., 2022). A disponibilidade hídrica é essencial para

plantas e animais e influi diretamente na produtividade agrícola. Atender à demanda crescente de alimentos, limitando o aumento do consumo de água, considerando as mudanças climáticas, requer maior eficiência no uso da água e menor intensidade de consumo e desperdício. Pode-se destacar dois aspectos relevantes sobre a gestão da água para a produção agrícola sustentável: planejamento e gestão integrada.

O primeiro é o planejamento para lidar com o potencial impacto de eventos climáticos extremos – secas ou excesso de chuvas, responsáveis por 18% a 43% da variabilidade da produtividade agrícola (Vogel et al., 2019), sendo as secas um problema mais pronunciado e principal responsável por perdas em produtividade em 75% das áreas agrícolas do mundo (Kim; Iizumi; Nishimori, 2019). O segundo refere-se à gestão integrada dos recursos hídricos, que inclui o uso eficiente de irrigação e a melhoria da resiliência da produção não irrigada (Liu et al., 2022).

Silva et al. (2021c) utilizaram aprendizagem não supervisionada para identificar o potencial impacto de secas e diferentes zonas de produtividade, utilizando informações climáticas, de produtividade e espaciais. Um estudo de caso com cana-de-açúcar conclui que o uso do framework proposto proporcionou melhores resultados que o método tradicional de avaliação pelo Standard Precipitation Index (SPI), que indica seca meteorológica.

Visto que dados distribuídos e heterogêneos são um problema frequente na agricultura, Silva et al. (2021b) desenvolveram um framework teórico para organizar os estudos e a pesquisa, que permite a

3 Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/sobre-o-cepea.aspx>. Acessado em: 5/mar./2024.

avaliação de cenários de mudanças climáticas e o auxílio à tomada de decisões por diferentes agentes. Adota conceitos de gerenciamento de riscos e o uso tanto de modelos climáticos quanto de IA, permitindo a extração de conhecimento de diferentes tipos de dados em contextos distintos. Aspectos de modelagem multiobjetivos também são considerados pelos autores.

O planejamento para lidar com extremos climáticos engloba três pontos: (i) o desenho de planos de ação para os diferentes cenários; (ii) a montagem de um sistema de monitoramento, como estações meteorológicas próximas à área agrícola; e (iii) a execução do plano de ação em questão, considerando a automação de tarefas.

A pesquisa em modelos e técnicas de IA auxilia a prover potenciais soluções para os três pontos citados. No caso dos planos de ação, a pesquisa utilizando IA foca atividades como: auxiliar na identificação de padrões nas séries climáticas; auxiliar no entendimento do impacto de diferentes ações passadas no manejo de recursos naturais; e auxiliar na tomada de decisões sobre irrigação em dado período. O desperdício também é uma questão bastante relevante, combinando a irrigação com os dados de umidade do solo e de expectativa/previsão de chuvas.

Em relação à execução do plano de ação em questão, a IA entra como recurso adicional em pesquisas sobre automatização inteligente de sistemas de irrigação, monitoramento do impacto da seca nos talhões, utilizando drones, e monitoramento no nível de solo, utilizando redes de sensores sem fio e IoT.

Balti et al. (2020) realizam uma ampla revisão bibliográfica que destaca a IA

como um importante conjunto de métodos que pode auxiliar na extração de conhecimento e auxílio à tomada de decisões, relacionados ao monitoramento de secas utilizando dados em grandes volumes.

Rolnick et al. (2022) apresentam uma revisão aprofundada do uso de IA na pesquisa em diferentes setores para endereçar problemas relacionados às mudanças climáticas. Para os sistemas agropecuários e florestais, apontam os seguintes usos: sensoriamento remoto de emissões de poluentes, agricultura de precisão, monitoramento de uso do solo e gestão de florestas.

Com relação à pesquisa em IA voltada ao correto uso da irrigação, uma série de fatores é considerada na literatura, como: (i) a quantidade de água; (ii) a qualidade da água disponível; (iii) os potenciais impactos de mudanças climáticas; (iv) a automação do sistema de irrigação; e (v) os impactos econômicos e sociais.

No que tange à quantidade e à qualidade de água disponível e os potenciais impactos de mudanças climáticas neste aspecto, a pesquisa em IA engloba: previsão de impactos de mudanças climáticas; previsão de vazão de rios; realização de simulações considerando diferentes cenários; realização de estudos para avaliar a sustentabilidade dos sistemas de irrigação; potenciais impactos do uso da água disponível nas plantas e nos sistemas de irrigação, considerando sua qualidade.

Tung e Yaseen (2020) analisam diferentes métodos para avaliação de qualidade da água em rios utilizando modelos de IA, e destacam o uso de redes neurais, lógica *fuzzy* e modelos híbridos, pois têm melhor desempenho que os modelos clássicos. Obaideen et al. (2022) e Garcia et al.

(2020) revisam a literatura do uso de IA e sistemas inteligentes em irrigação, destacando as principais tecnologias envolvidas, suas limitações e o importante papel da IA no desenvolvimento de novas práticas.

Produção agrícola: sustentabilidade, produtividade, eficiência

Na produção agrícola, os insumos e as práticas culturais, devidamente integrados, resultam em conversão de biomassa direcionada principalmente para a produção de alimentos, fibra e energia. Para atender ao setor, três dos principais objetivos buscados pela pesquisa agrícola são produtividade, sustentabilidade e eficiência, essenciais para atender à demanda crescente por diferentes tipos de alimentos oriunda de aumento populacional, melhoria da qualidade de vida e nível de renda, e demanda por produtos mais sustentáveis.

A IA na pesquisa agrícola pode auxiliar em diversos aspectos para aumentar a produtividade, com melhorias em: identificação de melhorias em processos; automação; aplicação e distribuição de insumos; processo de tomada de decisões, dentre outros. Outra contribuição é o potencial de aumento da qualidade dos produtos por melhorias no tratamento de doenças e pragas, na manipulação dos produtos, estratégias de manejo para maior qualidade nutricional e redução de perdas em campo. Vários desses pontos contribuem para a sustentabilidade.

Estratégias de otimização das lavouras baseadas na agricultura de precisão (AP) têm sido propostas e testadas, com

resultados impactantes, por exemplo, na produção e utilização de insumos (Shafi et al., 2019; Colaço et al., 2020). Com o avanço das TICs e o uso da ciência de dados no setor agrícola, pode-se estruturar o arcabouço de conhecimento agrônomo e de informações digitais para se obter recomendações de campo mais assertivas. Os sistemas inteligentes para o auxílio à tomada de decisões baseados em inteligência artificial podem contribuir de forma significativa.

Modelos de IA baseados em aprendizagem supervisionada, não supervisionada e por reforço são aplicados na pesquisa para aumento de produtividade, sustentabilidade e eficiência. A aprendizagem supervisionada tem sido usada na predição da produtividade. Há exemplos para diferentes culturas, como em Maldaner et al. (2021) e Canata et al. (2021), para cana-de-açúcar; Martello et al. (2022) e Bazame et al. (2022), para café; e Wei et al. (2020), para cenoura. Também tem sido utilizada para pesquisa na previsão de ocorrência de doenças e identificação de plantas daninhas (Liakos et al., 2018).

A aprendizagem não supervisionada pode ser utilizada para explorar os dados gerados no campo, auxiliando na análise de agrupamento de dados espaciais e temporais, na identificação de diferentes níveis de qualidade de produtos, dentre outros. Uma área de pesquisa importante em AP é a identificação de regiões, chamadas de zonas de manejo, que sejam mais homogêneas no tempo e no espaço para variáveis do solo e para produtividade. Busca-se encontrar padrões espaciais e temporais a partir de diversas camadas de dados, de inúmeras variá-

veis e com um grande número de pontos (dados). Zang et al. (2009) foram alguns dos pioneiros. Anselmi et al. (2021) utilizam zonas de manejo identificadas para adotar diferentes níveis de população de plantas por área, de acordo com a aptidão de cada região. Em Zane et al. (2013) e Costa (2016), métodos de agrupamentos são combinados com análise de autocorrelação espacial para obter segmentos mais significativos aos objetivos desejados.

A aprendizagem por reforço tem aplicação em pesquisas relacionadas à execução de tarefas de forma automática ou autônoma, como nos robôs agrícolas e na automação de sistemas. Uma importante aplicação na pesquisa é na experimentação *on-farm*, ou “experimentação de precisão”, baseada em testes em campo em larga escala, implementados por meio de ferramentas de automação e monitorados com sensores. Gera uma grande quantidade de dados sobre a resposta da cultura ao tratamento de interesse e sobre as características locais que explicam tal resposta. Difere da experimentação agrícola tradicional, em pequenas parcelas e com alto controle estatístico. Busca o auxílio à tomada de decisão por meio de observações empíricas a campo, dada uma alteração de manejo (Lacoste et al., 2022; Bramley et al., 2022). A automação desse processo e o uso de técnicas avançadas de tratamento e análise de dados no âmbito da IA oferecem grandes oportunidades para sistemas inteligentes de auxílio à tomada de decisão, como em Colaço et al. (2021). Colaço et al. (2024) demonstraram essa abordagem, com um modelo de aprendizado de máquina que foi capaz de prever a dose ótima de

fertilizante nitrogenado a ser aplicada, relacionando as características de campo observadas a condições para as quais a dose ótima era conhecida, por meio de um banco de dados histórico oriundo da experimentação *on-farm*. Essa abordagem superou o desempenho (em termos de lucratividade e acurácia da recomendação) de qualquer outro método baseado em conhecimento agrônomo empregado tradicionalmente na produção agrícola.

IA nas pesquisas em cadeias de valor agrícolas

São inúmeros os exemplos do potencial de uso e de impacto dos diferentes instrumentos da inteligência artificial na pesquisa nas cadeias de valor e comercialização agropecuária, e em particular em segurança alimentar.

Há mais de 30 anos, o Cepea-USP⁴ realiza levantamentos de preços diários em todas as regiões do Brasil, dependendo da cultura. Para os dados agropecuários as variáveis de tempo e localização são importantes para buscar relações, fazer cruzamentos e visualizar em mapas ou outros formatos. Grandes volumes de dados históricos têm sido armazenados de forma permanente e aplicados em modelagem de séries temporais, analisando questões como a formação e transmissão de preços e a relação de troca de produtos agropecuários, tanto em nível de pesquisa como para apoio direto ao mercado.

4 Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br>. Acesso em: 25/jan./2024.

O uso cada vez mais amplo de IA, como em algoritmos de aprendizagem de máquina, mineração de dados e textos, e ainda a organização de grandes bases de dados, beneficia fortemente a pesquisa. Aplicar modelos de redes socioeconômicas permite avaliar padrões de transporte de cargas, de movimentação de animais e vegetais, de exportações, que podem subsidiar políticas e programas de fomento à produção, de controle de doenças e pragas, de suporte de preços a regiões mais vulneráveis e de sistemas de transporte. Como exemplo, Menezes, Luna e Miranda (2020) aplicam o modelo de redes socioeconômicas utilizando registros do Guia de Trânsito Animal (GTA) de bovinos, emitidos pelos órgãos de defesa sanitária para autorização de circulação de animais nos estados e entre estados, para avaliar o padrão geográfico da movimentação, para fins de discussão de política de defesa sanitária, com foco na doença da febre aftosa.

A IA nos estudos de cadeias de valor auxilia na categorização de informações de forma ágil e com suporte estatístico, e permite identificar padrões em conjuntos de dados quantitativos e também em bases de informações textuais. É o caso da mineração de textos para analisar o impacto de notícias ambientais sobre fluxos comerciais do Brasil para o exterior (Oliveira; Miranda, 2023; Silva, 2022).

Também nas análises de risco no trânsito internacional de produtos e, consequentemente, na definição de padrões amostrais em comércio de produtos de origem vegetal e animal, a IA é importante aliada, permitindo poupar tempo e recursos e a construção de sistemas como o do canal-verde na inspeção de embalagens e suportes de madeira no

aeroporto de Viracopos, em Campinas. É o caso dos estudos para a definição do sistema atualmente em funcionamento pela concessionária ABV no aeroporto de Viracopos, com fiscalização da madeira pelo Vigiagro/Mapa (Adami; Miranda; Marcondes, 2021). Técnicas de ML foram usadas para identificar o padrão de comportamento de empresas e, a partir desses modelos, ter mais elementos para definir sistemas de fiscalização, com aplicações possíveis do ponto de vista sanitário e fiscal (Aranha, 2021).

Benso et al. (2023a) englobam diferentes cadeias de valor no estudo de modelos e metodologias para o desenho e avaliação de seguros agrícolas considerando múltiplas ameaças climáticas. Concluem o trabalho com um exemplo para a produção de soja no Brasil, utilizando aprendizagem não supervisionada para melhor explorar, analisar e entender os dados relacionados a perdas, produtividade e índices climáticos relevantes.

Silva et al. (2021a) usam aprendizagem supervisionada na pesquisa relacionada a preços de produtos agrícolas. Exploraram o uso de modelos clássicos de previsões de séries temporais (Arima e Sarima), de modelos de IA (SVR, AdaBoost e LSTM) e de conjuntos destes modelos (*ensembles*) para previsão de preços diários de soja e açúcar no Brasil. Concluíram que os modelos com melhores resultados para os dois produtos foram os de IA e que os clássicos foram os piores.

O Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Combate à Fome⁵, criado em 2023, traz explicitamente a IA como um

5 Disponível em: <https://www.fsp.usp.br/inct-combate-a-fome/> Acesso em: 25/jan./2024.

eixo transversal a todas as pesquisas. Ele surgiu da interação entre pesquisadores de diversas áreas, incluindo o eixo AgriBio⁶ do C4AI-USP. A área tem potencial e demanda enormes atualmente, dado que a fome e a insegurança alimentar se agravaram.

Na segurança alimentar, a IA pode auxiliar a construir indicadores de oferta e demanda de alimentos, a partir de dados detalhados, visando-se obter um mapa de vulnerabilidade que permite avaliações com cruzamento de diferentes indicadores. O cruzamento de dados de saúde pública com dados geográficos, sociais, econômicos, de gastos públicos, de localização de equipamentos da política pública, entre outros, é possível e pode ser muito útil para o planejamento, implantação e monitoramento de resultados das políticas e programas públicos para combate à insegurança alimentar, como no trabalho de Gomes e Miranda (2023).

Domene et al. (2023) discutem temas importantes sobre segurança alimentar, englobando diversos aspectos da pesquisa e do uso de IA para auxiliar o desenvolvimento de políticas públicas e a tomada de decisão de diferentes agentes. Apontam que a ciência de dados e a IA são essenciais para auxiliar a enfrentar desafios relacionados à fome e à insegurança alimentar.

DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Não há como não reconhecer ou subestimar a importância da IA para a pesquisa

e, na sequência, para a produção e comercialização agrícola. As características dos processos agrícolas, sua abrangência, a complexidade natural dos aspectos biológicos, climáticos e de solo, ambientais e de sustentabilidade, a diversidade de perfis de produtores, as instabilidades de mercado – do local ao global –, entre outros fatores, requerem ferramentas adequadas para permitir seu entendimento e a tomada de decisões bem-informada, muito mais do que ocorre hoje.

Os exemplos acima são uma pequena amostra do que existe, e ainda menor se considerarmos a demanda e o potencial. A agricultura traz desafios para a pesquisa em IA, por exemplo, pela necessidade de melhores modelos (previsibilidade/confiabilidade) e de explicabilidade para que os produtores possam entender e aceitar as recomendações e os resultados. Como os dados são um ponto de partida, a questão dos princípios FAIR e CARE, juntos, torna-se crítica. Destaque para a dificuldade de acesso aos dados, seu compartilhamento e qualidade. Quando sob a custódia de entes públicos, o acesso é muitas vezes limitado por burocracia e políticas internas de não disponibilização, apesar da vigência da Lei de Acesso à Informação. Nesse sentido, programas como o Open Government Partnership, ou Parceria para Governo Aberto, iniciativa internacional da qual o Brasil foi um dos fundadores, são muito importantes, pois estimulam os entes governamentais a adotarem práticas de abertura e compartilhamento de dados. Quando de fontes privadas, o receio de desvelar dados que possam ter implicações fiscais, por exemplo, limita o seu compartilhamento,

⁶ Disponível em: https://c4ai.inova.usp.br/research_2/#AgriBio_B_eng. Acesso em: 25/jan./2024.

que poderia ser útil para entender o que se passa em cada local. Para dar mais segurança aos demais atores, é crucial o desenvolvimento de políticas sobre IA e uso de dados.

É necessária atuação multidisciplinar na pesquisa em IA na agricultura, pelas características dos seus problemas, atuação esta que já consta formalmente de políticas institucionais nos meios acadêmicos, seja nas universidades, nos órgãos de avaliação, seja ainda nas agências de fomento. A realidade, porém, é que a prática está longe de estimular a multidisciplinaridade, tanto nas avaliações dos pesquisadores, suas carreiras, sua produção, como na avaliação de projetos, que muitas vezes acabam nas mãos de avaliadores que, com uma ótica monodisciplinar, não reconhecem o valor e as características de propostas e times multidisciplinares.

Em linha com isso está a necessidade de atuar em conjunto com os demais *stakeholders*, desde a identificação das questões até o desenho e execução de projetos de pesquisa, em processo de cocriação.

A inteligência artificial desempenhará um papel cada vez mais importante na agri-

cultura, integrada com outras tecnologias como IoT, e poderá proporcionar *insights* mais profundos, possibilitando decisões mais precisas e informadas no campo e ao longo das cadeias produtivas, tornando a agricultura mais inteligente e sustentável.

O uso da IA demandará mais infraestrutura de dados e processamento para sua implementação nas pesquisas na agricultura. A fragmentação dos recursos por projetos não é uma boa solução, pois não permite otimizar seu uso e dificulta obter a escala necessária. Por outro lado, as universidades brasileiras têm capacidade muito limitada de atender institucionalmente a essa demanda, caso prevaleçam as políticas e os investimentos vigentes.

Nesse contexto, oportunidades a serem exploradas são: parcerias público-privadas, que possuem um benefício adicional de troca de experiências e conhecimento e facilitam a transferência de tecnologia; o desenho e implantação de soluções de infraestrutura compartilhadas entre diferentes centros de pesquisa; e programas de fomento de longo prazo, que englobem tanto o investimento inicial em infraestrutura quanto a sua manutenção e modernização.

REFERÊNCIAS

- ADAMI, A. C. O.; MIRANDA, S. H. G.; MARCONDES, A. G. "Fiscalização de embalagens de madeira em Viracopos". *Revista de Política Agrícola*, v. 30, 2021, pp. 45-53.
- AGGARWAL, M.; KHULLAR, V.; GOYAL, N. "Agriculture in society 5.0", in V. Khullar et al. (eds.). *Artificial intelligence and society 5.0: issues, opportunities and changes*. Londres, Chapman and Hall/CRC, 2024.
- AHMAD, L.; NABI, F. *Agriculture 5.0: artificial intelligence, IoT and machine learning*. Boca Raton, CRC Press, 2021.
- ANSELM, A. A. et al. "Definition of optimal maize seeding rates based on the potential yield of management zones". *Agriculture*, v. 11, 2021, pp. 911-27.
- ARANHA, F. S. *Programa de fiscalização reduzida em embalagens de madeira para acondicionamento de importados: impacto do programa no comportamento das empresas e comparação entre modelos preditivos para o manejo do risco*. Dissertação de mestrado. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da USP, 2021.
- BALTI, H. et al. "A review of drought monitoring with big data: issues, methods, challenges and research directions". *Ecological Informatics*, v. 60, 2020, pp. 101-36.
- BAZAME, H. C. et al. "Mapping coffee yield with computer vision". *Precision Agriculture*, v. 23, 2022, pp. 1-16.
- BENSO, M. R. et al. "Design and evaluation of weather index insurance for multi-hazard resilience and food insecurity". *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 23, n. 4, 2023a, pp. 1.335-54.
- BRAMLEY, R. G. V. et al. "Did someone say 'farmer-centric'? Digital tools for spatially distributed on-farm experimentation". *Agronomy for Sustainable Development*, v. 42, n. 105, 2022.
- BRASIL. LEI nº 12.527, de 18 de novembro de 2011. *Diário Oficial da União*, seção 1, edição extra, p. 1. Disponível em: <https://www.lexml.gov.br/urn/urn:lex:br:federal:lei:2011-11-18;12527>.
- CANATA, T. F. et al. "Sugarcane yield mapping using high-resolution imagery data and machine learning technique". *Remote Sensing*, v. 13, 2021, pp. 232-46.
- COLAÇO, A. F. et al. "How will the next-generation of sensor-based decision systems look in the context of intelligent agriculture? A case-study". *Field Crops Research*, v. 270, fev./2021, pp. 108-205.
- COLAÇO, A. F. et al. "Digital strategies for nitrogen management in grain production systems: lessons from multi-method assessment using on-farm experimentation". *Precision Agriculture*, 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-023-10102-z>.
- COLAÇO, A. F. et al. "Economic viability, energy and nutrient balances of site-specific fertilisation for citrus". *Biosystems Engineering*, v. 200, 2020, pp. 138-56. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511020302488?via%3Dihub>.
- COSTA, W. F. *Segmentação multirresolução variográfica ótima*. Tese de doutorado. São Paulo, Poli-USP, 2016.
- CROWDFLOWER. *Data science report*. CrowdFlower, 2016. Disponível em: <https://www2.cs.uh.edu/~ceick/UDM/CFDS16.pdf>. Acesso em: 5/set./2023.

- DOMENE, S. et al. "Segurança alimentar: reflexões sobre um problema complexo". *Estudos Avançados*, v. 37, 2023, pp. 181-206.
- DRUCKER, D. P. et al. "Implantação da rede temática GO FAIR Agro Brasil: primeiros passos". *Anais do XIII Congresso Brasileiro de Agroinformática*, pp. 164-71. Porto Alegre, 2021. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbiagro/article/view/18387>.
- FAIRBARN, M.; KISH, Z. "Setting data free: the politics of open data for food and agriculture". *New Media & Society*, v. 25, n. 8, 2023, pp. 1.935-59. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/14614448231174520>.
- FAO. "CFS policy recommendations on strengthening FSN data collection and analysis tools for food security and nutrition". 2023. Disponível em: https://www.fao.org/fileadmin/templates/cfs/Docs2223/Data/OEWG-23-03/CFS_Policy_Recommendations_on_FSN_Data_ZeroDraft_final_Mar16.pdf.
- FAO; ITPGRFA. "Developments regarding digital sequence information/genetic sequence data". Rome, may/2023. Disponível em: <https://www.fao.org/3/cc5400en/cc5400en.pdf>.
- GARCÍA, L. et al. "IoT-based smart irrigation systems: an overview on the recent trends on sensors and IoT systems for irrigation in precision agriculture". *Sensors*, v. 20, n. 4, 2020, pp. 10-42.
- GOMES, J. G.; MIRANDA, S. H. G. "Mapeando a vulnerabilidade à insegurança alimentar na metrópole paulista". XI Encontro Nacional da Anpaas. Curitiba, 12-15/set./2023.
- KIM, W.; IIZUMI, T.; NISHIMORI, M. "Global patterns of crop production losses associated with droughts from 1983 to 2009". *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, v. 58, n. 6, 2019, pp. 1.233-44.
- LACOSTE, M. et al. "On-farm experimentation for global agriculture transformation". *Nature Food*, v. 3, 2022, pp. 11-18. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s43016-021-00424-4>.
- LIAKOS, K. G. et al. "Machine learning in agriculture: a review". *Sensors*, v. 18, n. 8, 2018, 1-29. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/18/8/2674>.
- LIU, X. et al. "Global agricultural water scarcity assessment incorporating blue and green water availability under future climate change". *Earth's Future*, v. 10, n. 4, 2022.
- MALDANER, L. F. et al. "Predicting the sugarcane yield in real-time by harvester engine parameters and machine learning approaches". *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 181, 2021.
- MARTELLO, M. et al. "Coffee-yield estimation using high-resolution time-series satellite images and machine learning". *Agriengineering*, v. 4, 2022, pp. 888-902.
- MENEZES, T. C. de; LUNA, I.; MIRANDA, S. H. G. de. "Network analysis of cattle movement in Mato Grosso do Sul (Brazil) and implications for foot-and-mouth disease". *Frontiers in Veterinary Science*, v. 7, 2020, p. 219.
- MYERS, S. S.; PIVOR, J. I.; SARAIVA, A. M. "The São Paulo Declaration on Planetary Health". *The Lancet*, v. 398, n. 10.308, 2021, pp. 12-99.
- OBAIDEEN, K. et al. "An overview of smart irrigation systems using IoT". *Energy Nexus*, 2022, pp. 100-24.
- OLIVEIRA, M. M.; MIRANDA, S. H. G. "A importância da reputação no comércio internacional de commodities agrícolas brasileiras". *Anais do 61º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (Sober)*. Piracicaba, Even3, 2023.

- REER, A. et al. "FAIR human neuroscientific data sharing to advance AI driven research and applications: legal frameworks and missing metadata standards". *Frontiers in Genetics*, v. 14, 1086802. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/genetics/articles/10.3389/fgene.2023.1086802/ful>.
- ROLNICK, D. et al. "Tackling climate change with machine learning". *ACM Computing Surveys (CSUR)*, v. 55, n. 2, 2022, pp. 1-96.
- SARAIVA, A. M. et al. "Dados na agricultura digital: ciclo, padronização, qualidade, compartilhamento e segurança", in D. M. Queiroz et al. (eds.). *Agricultura digital*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2020, pp. 308-25.
- SHAFI, U. et al. "Precision agriculture techniques and practices: from considerations to applications". *Sensors*, v. 19, n. 17, 2019, pp. 37-96.
- SILVA, J. M. *A interface entre meio ambiente e comércio internacional: uma análise para o comércio agrícola brasileiro com a União Europeia*. Dissertação de mestrado. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da USP, 2022.
- SILVA, R. F.; BARREIRA, B. L.; CUGNASCA, C. E. "Prediction of corn and sugar prices using machine learning, econometrics, and ensemble models". *Engineering Proceedings*, v. 9, n. 1, 2021a, p. 31.
- SILVA, R. F. et al. "A theoretical framework for multi-hazard risk mapping on agricultural areas considering artificial intelligence, IoT, and climate change scenarios". *Engineering Proceedings*, v. 9, n. 1, 2021b, p. 39.
- SILVA, R. F. et al. "A data-driven framework for identifying productivity zones and the impact of agricultural droughts in sugarcane using SPI and unsupervised learning". 2021 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor), 2021c, pp. 226-31.
- SIMEONAKI, E.; KRYSTANOS, M.; ARVANITIS, K. "Recent advances in digital twins for agriculture 5.0: applications and open issues in livestock production systems". *Applied Sciences*, v. 14, n. 2, 2024.
- SOARES, F. M. et al. "Building a community-based fair metadata schema for Brazilian agriculture and livestock trading data". *CEUR Workshop Proceedings*, v. 3.235, 2022.
- TUNG, T. M.; YASEEN, Z. M. "A survey on river water quality modelling using artificial intelligence models: 2000-2020". *Journal of Hydrology*, v. 585, pp. 124-670.
- VOGEL, E. et al. "The effects of climate extremes on global agricultural yields". *Environmental Research Letters*, v. 14, n. 5, 2019.
- WEI, M. C. F. et al. "Carrot yield mapping: a precision agriculture approach based on machine learning". *AI*, v. 1, 2020, pp. 229-41.
- WILKINSON, M. D. et al. "The FAIR guiding principles for scientific data management and stewardship". *Scientific Data*, 3:160018, 2016. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/sdata201618>.
- WU, B. et al. "Quantifying global agricultural water appropriation with data derived from Earth observations". *Journal of Cleaner Production*, v. 358, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622015013>.

ANTÔNIO MAURO SARAIVA é professor do Departamento de Engenharia de Computação da Escola Politécnica e do Centro de Inteligência Artificial (C4AI), ambos da USP.

FERNANDO SANTOS OSÓRIO é professor do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC) da USP e do C4AI-USP.

ANDRÉ FREITAS COLAÇO é professor do Departamento de Engenharia de Biossistemas da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq) da USP.

DEBORA PIGNATARI DRUCKER é analista da Embrapa Agricultura Digital e colaboradora do C4AI-USP.

EDUARDO MARIO MENDIONDO é professor da Escola de Engenharia de São Carlos da USP e coordenador do Centro de Estudos e Pesquisas em Desastres (Ceped) e da Cátedra Unesco de Águas Urbanas.

FERNANDO ELIAS CORRÊA é pesquisador do C4AI-USP e do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea) da USP.

FILIPI MIRANDA SOARES é doutorando na USP e na Universidade de Twente (Holanda) e pesquisador do C4AI-USP.

JOSÉ PAULO MOLIN é professor do Departamento de Engenharia de Biossistemas da Esalq-USP e pesquisador do C4AI-USP.

MARCOS ROBERTO BENSO é bolsista CNPq no INCT ONSEAdapta e pesquisador do C4AI-USP.

PATRICIA ANGÉLICA ALVES MARQUES é professora do Departamento de Engenharia de Biossistemas da Esalq-USP e do C4AI-USP.

ROBERTO FRAY DA SILVA é professor do Departamento de Engenharia de Biossistemas da Esalq-USP e pesquisador do C4AI-USP.

SÍLVIA HELENA GALVÃO DE MIRANDA é professora do Departamento de Economia, Administração e Sociologia da Esalq-USP e pesquisadora do Cepea-USP e do C4AI-USP.

WILLIAN FRANÇA COSTA é pós-doutorando na Escola Politécnica da USP.

ALEXANDRE CLÁUDIO BOTAZZO DELBEM é professor do ICMC-USP e do C4AI-USP.