

Agricultura digital, inovação e aplicações

Maria Angelica de Andrade Leite | Silvia Maria Fonseca Silveira Massruhá | Klever José Coral

Introdução

O Brasil é o maior exportador mundial de soja, café, açúcar, suco de laranja, etanol de cana-de-açúcar, carne bovina e de frango. Em 2018, as exportações do agronegócio foram da ordem de US\$ 101,686 bilhões, aumentando 5,91% em relação aos US\$ 96,014 bilhões obtidos em 2017. A agricultura brasileira é baseada em mais de 300 espécies de cultivos e envia para o mundo 350 tipos de produtos que chegam a 200 mercados do planeta. O Brasil é grande produtor de grãos, carne e frutas, e o setor agropecuário contribui com 21,1% do produto interno bruto (PIB) e 20% da força de trabalho. O País ainda se destaca na busca de fontes de energia renováveis. Entre 1975 e 2019, a produção de cana-de-açúcar aumentou de 91,5 milhões de toneladas para 665 milhões de toneladas, ocupando pouco mais de 1% do território nacional (Embrapa, 2019).

No País, a agricultura familiar é responsável por parte importante da produção nacional de alimentos. Cerca de 50% dos estabelecimentos da agricultura familiar se concentram na região Nordeste, 19% na região Sul, 16% na região Sudeste, 10% na região Norte, 5% na região Centro-Oeste. A Bahia é o estado com maior número de estabelecimentos familiares (15%), seguida por Minas Gerais (10%). Esses dois estados possuem também as maiores áreas com estabelecimentos familiares, cerca de 10 milhões e 9 milhões de hectares, respectivamente (Embrapa, 2019).

Apesar da pujança de sua agricultura, ainda existem muitos desafios a serem enfrentados.

A expectativa de a população mundial atingir 9 bilhões de habitantes em 2050 demanda uma quantidade crescente de alimentos, impondo a necessidade de aumentar a produtividade com redução de custos na mesma área plantada, respeitando a conservação dos recursos naturais. Ao mesmo tempo, os novos hábitos do consumidor com demanda por alimentos mais nutritivos e funcionais, os eventos climáticos extremos, o envelhecimento da população rural, o deslocamento dos jovens do campo para as cidades, além da ameaça do coronavírus com impactos na exportação e no preço das commodities agrícolas representam situações a serem enfrentadas pela agricultura.

Nesse contexto, surgiu um novo fator de produção que está transformando a base de crescimento econômico para os países em todo o mundo. Trata-se da transformação digital, que é uma nova abordagem onde as tecnologias da informação e comunicação (TICs) desempenham papel-chave na transformação da estratégia, estrutura, cultura e processos das organizações, com o alcance e o poder da internet. O Fórum Econômico Mundial (FEM) lançou a Iniciativa de Transformação Digital em 2015, em colaboração com a Accenture, para servir de ponto focal para novas oportunidades e temas emergentes relacionados aos últimos desenvolvimentos na área da digitalização de negócios e da sociedade. Essa iniciativa suporta as ações do FEM em torno dos temas relacionados à *Quarta Revolução Industrial*, levando ao estabelecimento da Indústria 4.0 (World Economic Forum, 2017).

Para que o Brasil possa garantir, ou mesmo ampliar, sua capacidade de produção com

sustentabilidade, ao mesmo tempo que atende à demanda por segurança alimentar e nutricional, tornam-se necessárias a modernização e a inovação em toda a cadeia de produção agrícola, implantando a transformação digital no campo e convergindo para a agricultura digital ou Agricultura 4.0, numa analogia à Indústria 4.0.

A agricultura digital se baseia em conteúdo digital por meio do processamento do grande volume de dados produzido em todas as áreas que contribuem com o desenvolvimento agrícola, como a biotecnologia, as mudanças climáticas, as geotecnologias, as ciências agrárias, informações de mercado, distribuição e logística. Esse conteúdo digital visa gerar conhecimentos que serão aplicados em todos os elos da cadeia produtiva, desde a pré-produção, passando pela produção, até a fase de pós-produção (Massruhá et al., 2020b). Nesse cenário, existe um conjunto de inovações que são as chamadas tecnologias disruptivas, que, juntas, prometem grandes avanços na automação da agricultura. Algumas dessas tecnologias são: Internet das Coisas (IoT), *big data*, inteligência artificial, impressão 3D, robótica, *blockchain*, realidade aumentada, realidade virtual, além de plataformas sociais, mobilidade e computação em nuvem, as quais, em conjunto, são alguns dos pilares para inovação na agricultura.

Na agricultura digital, tecnologias da informação e comunicação (TICs), são empregadas nos processos de produção agrícola. Aplicações dessas tecnologias em agricultura e pecuária de precisão, irrigação, manejo integrado de pragas e rastreabilidade animal, gestão de fazendas, controle de maquinário, entre outras, podem ser vistas hoje em diversos estágios de desenvolvimento, na pesquisa, em projetos-pilotos e em produção e uso comercial. Nessas aplicações, a comunicação de dados no campo, do campo e para o campo é crucial.

A partir da transformação digital, houve a proliferação de startups que são altamente flexíveis em relação às empresas tradicionais e que têm um objetivo claro e rapidez para adaptar-se, mudar, criar, reformular estratégias, enxergar e criar novos mercados e novas possibilidades de monetização. Em 2020, a Associação Brasileira de Startups – Abstartups (Abstartups, 2017) contabilizou mais de 13 mil startups entre suas filiadas (StartupBase, 2020). Na agricultura não se pode deixar de mencionar o movimento de startups agrícolas, as AgTechs, que são empresas inovadoras, associadas à tecnologia, e que visam construir aplicações para a agricultura. As AgTechs têm um importante papel na implantação da agricultura digital no Brasil. De acordo com o 2º *Censo AgTech Startups Brasil*, realizado pela AgTech Garage (AgTech Garage, 2020), os maiores investimentos realizados pelas AgTechs estão no desenvolvimento de soluções para as culturas de soja (46%), milho (41%), cana-de-açúcar (35%), pecuária de corte (30%), café (25%), pecuária de leite (20%), citricultura (18%), culturas florestais (15%), piscicultura (11%), suinocultura (10%) e avicultura (10%). Além dessas, também há soluções para horticultura, fruticultura, algodão, agricultura orgânica e agroecológicos e para produção de equinos. No estudo *Radar AgTech Brasil 2019: mapeamento das startups do setor agro brasileiro* (Dias et al., 2019), realizado em parceria pela SP Ventures, Homo Ludens e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), dentro do Programa Pontes para Inovação, foi levantado que atualmente existe um total de 1.125 AgTechs no Brasil, sendo que 196 atuam na fase de pré-produção, 397 na fase de produção, e 532 na fase de pós-produção. Esse número só tende a crescer, dada a importância do agronegócio para a balança comercial do Brasil e sua necessidade de modernização e do uso das novas tecnologias digitais para que o agronegócio mantenha sua pujança na economia do País e na oferta de alimentos para o mundo.

Como exemplo de transformação digital, cita-se a Cooperativa dos Plantadores de Cana do Estado de São Paulo – Coplacana (Coplacana..., 2020). Ela foi a primeira cooperativa de plantadores de cana a ser fundada no estado em 1948, com o objetivo de oferecer insumos e assistência ao produtor rural. Conta com 27 filiais nos estados de São Paulo, Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, além de fábrica de rações; central de recebimento de embalagens vazias de agrotóxicos; *coop service*; e de duas unidades produtivas, o confinamento de gado e unidade de grãos. Preocupada em oferecer os melhores serviços e tecnologias para os seus cooperados, a Coplacana vem investindo em novas tecnologias disruptivas para oferecer novas soluções digitais para o campo. Para tanto, lançou o Avance Hub (Avance, 2020a), seu hub de inovação, buscando trazer novas tecnologias e eficiência dos setores de agronegócios, telecomunicações, saúde, mineração e ventures. Com sede no AgTech Garage em Piracicaba, SP, a evolução do hub é notada pelas grandes possibilidades ofertadas tanto para os novos empreendedores quanto para os cooperados que buscam cada vez mais por soluções aplicáveis na rotina do campo.

A Embrapa Agricultura Digital é uma unidade de pesquisa da Embrapa que tem como foco atuar em pesquisa, desenvolvimento e inovação em agricultura digital, visando à sustentabilidade, à competitividade e à agregação de valor nas cadeias produtivas. A Unidade tem envidado esforços para desenvolver pesquisas e soluções para a promoção da agricultura digital no País, em conjunto com os demais centros de pesquisa da Embrapa e instituições parceiras do setor público e privado (Massruhá et al., 2020a).

Este capítulo pretende explorar as ações realizadas pela Embrapa e a Coplacana na área da agricultura digital.

Pesquisas e aplicações para a agricultura digital

No contexto atual, há um acelerado aumento da capacidade de aquisição de dados de diferentes naturezas (imagens aéreas de satélites, drones, equipamentos de agricultura de precisão, estações meteorológicas, socioeconomia, melhoramento genético, biotecnologia, balanço nutricional de culturas, sensores em áreas de plantio e nos diversos elos das cadeias produtivas, mercado, distribuição e logística, etc.). Esses dados necessitam ser processados e analisados de forma adequada e em tempo hábil, para gerar informação e conhecimento visando ao atendimento das complexas demandas da agricultura brasileira. O processamento desses dados demanda pesquisas e geração de tecnologias em diversas áreas, como computação científica, modelagem agroambiental, geotecnologias, visão computacional, automação e agricultura de precisão, bioinformática e biotecnologia.

A geração, o processamento e a análise desses dados, de forma integrada — por meio de experimentos e instrumentos de coleta de dados, infraestrutura de alto desempenho computacional para o processamento e algoritmos de inteligência artificial, utilizando-se modelos matemáticos e estatísticos para análise, — irão permitir a produção de conhecimentos que possibilitarão a tomada de decisão nos diversos elos das cadeias produtivas nas fases de pré-produção, produção e pós-produção, levando à implantação da agricultura digital no País. Esta seção apresentará pesquisas e aplicações envolvendo essas diversas áreas no contexto da transformação digital na agricultura.

Modelagem agroambiental

A modelagem agroambiental se destaca como uma ferramenta para avaliar as repostas da produtividade agrícola às condições climáticas por

meio do uso de modelos estatísticos empíricos e de modelos baseados em processos biofísicos e socioeconômicos, os quais simulam a produtividade agrícola e suas interações com o ambiente e as práticas de manejo (Jones et al., 2017).

Diversas tecnologias e produtos que fazem uso da modelagem agroambiental aplicada ao planejamento rural têm sido desenvolvidos, direta ou indiretamente, com os principais eixos de atuação apresentados a seguir. Esses trabalhos podem ser agrupados em quatro vertentes centrais: 1) obtenção, organização, armazenamento e distribuição de dados básicos para a modelagem agroambiental; 2) quantificação e análise dos riscos climáticos e resiliência dos sistemas agrícolas; 3) produtos para suporte ao planejamento territorial; e 4) integração de análises socioeconômicas na modelagem agroambiental. Essas vertentes se complementam e, em vários momentos, se fundem no desenvolvimento das análises, na modelagem e simulação para a geração do conhecimento e dos produtos aplicados ao planejamento rural de forma integrada (Cuadra et al., 2020).

Um dos tipos de dados mais importantes para a modelagem agroambiental são os dados agrometeorológicos. Para disponibilização desses dados, de forma gratuita, a Embrapa conta com o sistema Agritempo¹ e os aplicativos móveis Agritempo mobile e Agritempo GIS. O Agritempo mobiliza uma rede colaborativa com 40 instituições, além de organizar e administrar um conjunto de mais de 1.600 estações meteorológicas, sendo que cada vez mais estações são agregadas. Também contém uma base de dados de pelo menos 10 anos de imagens de satélites que podem ser usadas para auxiliar pesquisas em agrometeorologia.

Para que a base de dados do Agritempo possua resolução e precisão nos dados suficientes para

o monitoramento da ocorrência de eventos adversos e sinistros agrometeorológicos, é utilizado o sistema Conprees, acrônimo para dados meteorológicos Consistentes, Preenchidos e Especializados. Trata-se de uma plataforma colaborativa de análise e compartilhamento de dados meteorológicos que integra diversas fontes de dados por meio de técnicas de inteligência artificial nesse processo (Monteiro, 2015).

A partir da disponibilização de dados agrometeorológicos, é possível a realização do Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc), regido pelo programa nacional do Decreto nº 9.841/2019 (Brasil, 2019). O Zarc delimita regiões e épocas de plantio de acordo com suas probabilidades de perda de produção causadas por eventos meteorológicos adversos (Santos; Martins, 2016). Suporta a tomada de decisão nos programas de seguro do governo federal, como o Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro) e o Programa de Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural (PSR). Essas informações são utilizadas para evitar perdas excessivas com indenizações em áreas ou épocas de alto risco para a agricultura, bem como avaliar soluções para sistemas de produção menos suscetíveis às adversidades climáticas.

Para facilitar o acesso às indicações do Zarc, o aplicativo Plantio Certo está disponível na loja de aplicativos da Embrapa², o qual permite que o usuário receba a indicação das diferentes taxas de riscos atrelados as suas respectivas épocas de plantio, abrangendo 43 culturas, entre elas a cana-de-açúcar, e todos os municípios do território nacional.

Outro aspecto a ser considerado quando se trata de planejamento rural é o planejamento territorial e o uso da terra, considerando-se os dados e informações sociais, econômicas e ambientais para apoiar a tomada de decisão sobre o uso da

¹ Disponível em: <http://www.agritempo.gov.br/agritempo>.

² Disponível em: www.embrapa.br/aplicativos.

terra nas diferentes escalas do território. Estudos e a aplicação de modelos em bases territoriais permitem a melhor compreensão dos processos de expansão, retração, transição, conversão e intensificação agrícola, bem como podem apoiar as políticas públicas associadas às mudanças climáticas e ao desenvolvimento rural sustentável brasileiro (Bolfé et al., 2016).

Nessa ótica, o sistema Agroideal³, desenvolvido pela The Nature Conservancy (TNC) em parceria com a Embrapa Agricultura Digital e empresas comerciais do setor agrícola, congrega informações como logística (localização de silos de armazenagem), socioeconomia (ocorrência de conflitos de terra) e legislação ambiental (localização de unidades de conservação) com dados de modelos de crescimento de culturas (produtividade atingível da soja). Dessa forma, o tomador de decisão pode avaliar sua estratégia de atuação, identificando os riscos e oportunidades das diferentes regiões do Brasil.

Outra abordagem após considerar o potencial produtivo, levando-se em conta o fator climático, permite o desenvolvimento de um modelo para diferenciar a necessidade da cultura, de acordo com a produtividade desejada e o potencial de suprimento do solo, de tal forma que a adição de nutrientes seja oriunda fundamentalmente do balanço nutricional. A Embrapa Agricultura Digital, em parceria com a Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), utiliza o conhecimento desse balanço de nutrientes que permitirá ajustes para a obtenção de recomendações mais adequadas, podendo, inclusive, chegar a uma redução na quantidade de fertilizantes a ser utilizada (Freire et al., 2016; Traspadini et al., 2018). O ajuste de modelos mecanísticos de abrangência mais generalizada pode tornar-se uma ferramenta eficaz para recomendações criteriosas de fertilizantes para

a cultura, em ajuste na parceria com a Coplacana. Esses modelos substituem as tabelas de recomendação, que, embora com razoável acerto em suas indicações, apresentam evidente empirismo ou subjetivismo em sua constituição. Esses aspectos são detalhados no Capítulo 8, Fertilidade do Solo e Adubação em Cana-de-açúcar.

A integração de análises socioeconômicas é outro tipo de estudo que pode melhorar o retrato da produção agropecuária brasileira. A partir de dados do Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), foi possível diferenciar os tipos de sistemas de produção de bovinos de corte e de cana-de-açúcar em uso pelos produtores ao longo do território nacional. As informações levantadas permitiram associar as diferentes formas de produção com impactos ambientais, como o cálculo das emissões de gases de efeito estufa. Além disso, tais informações foram a base para a construção de inventários de ciclo de vida (ICV), que resultaram em estudos de avaliação de ciclo de vida (ACV) de cana-de-açúcar e derivados da produção pecuária, para colaborar com a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio). A caracterização dos sistemas de produção de cana-de-açúcar foi adotada pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) no âmbito do financiamento de usinas-flex e pelo RenovaBio. Diversos projetos da Embrapa e seus parceiros contribuíram com esses resultados (Cuadra et al., 2020).

Uso de geotecnologias

Geotecnologia é um tipo específico de tecnologia voltada à aquisição, ao armazenamento, ao processamento, à visualização e à análise de dados geoespaciais, que, por sua vez, permeiam, direta ou indiretamente, uma série de temas relacionados à dinâmica da atividade agrícola. Sensoriamento remoto, sistemas de informações geográficas, sistemas de posicionamento

³ Disponível em: <https://agroideal.org>.

global (GPS, do inglês *Global Positioning System*) de navegação por satélite e banco de dados geoespaciais são alguns exemplos de geotecnologias amplamente utilizadas por vários setores nas mais diversas aplicações para a agricultura e o meio ambiente. Na agricultura digital, as geotecnologias assumem grande importância, pois permitem verificar a variabilidade temporal, espacial e a rastreabilidade da produção em todos os elos da cadeia, bem como o monitoramento das propriedades rurais, entre outras. As séries temporais de imagens de satélite têm sido cada vez mais utilizadas em uma vasta gama de aplicações para o monitoramento da superfície terrestre (Macario et al., 2020).

Uma dessas séries é voltada ao monitoramento da cobertura vegetal terrestre onde são utilizados os índices vegetativos. Esses índices podem ser utilizados para produzir gráficos temporais, visando representar as variações do vigor vegetativo ao longo do tempo. Nesse sentido, foi desenvolvido o Sistema de Análise Temporal da Vegetação⁴ (SATVeg), para atender à demanda por fornecimento instantâneo de perfis temporais de índices vegetativos pela internet a partir de uma plataforma de fácil acesso e visualização (Esquerdo et al., 2020). Hoje, o sistema possui uma área de cobertura para toda a América do Sul. Recentemente, o SATVeg foi incluído na Portaria nº 4.796 do Banco Central do Brasil como ferramenta remota para apoio à comprovação de perdas agrícolas no âmbito do Proagro (Brasil, 2020), uma vez que o sistema pode dar indicativos sobre a condição da biomassa das lavouras e apoiar as decisões sobre questões relacionadas ao pagamento do seguro agrícola.

A geração de dados e informações sobre a dinâmica do uso e da cobertura da terra também se constitui em uma área de desenvolvimento de soluções das geotecnologias. Para tratar dessa

temática, principalmente no que diz respeito ao estudo da expansão da agricultura das commodities agrícolas sobre as florestas da Amazônia, foi criado o Projeto TerraClass Amazônia (Almeida et al., 2016). O portal TerraClass Amazônia⁵ está disponível para acesso livre e tem como público-alvo usuários de dados que necessitam conhecer e analisar a dinâmica do uso e cobertura da terra nas áreas desflorestadas da Amazônia Legal, com foco em gestão territorial. As informações são apresentadas como classes temáticas, sendo uma delas a de “Cultura agrícola semiperene” representada, principalmente, pela cultura da cana-de-açúcar.

Posteriormente, essa cobertura também se expandiu para o bioma Cerrado por meio do Projeto TerraClass Cerrado⁶. Dessa forma, é possível aumentar a capacidade de gestão nos biomas da Amazônia e do Cerrado. O objetivo desses projetos é o de produzir, sistematicamente, mapeamentos do uso e da cobertura da terra na região, viabilizando o monitoramento dos impactos das ações e das políticas públicas do governo federal, tanto as focadas no desenvolvimento e na intensificação da atividade agrícola quanto na preservação dos sistemas naturais. Outras aplicações consistem no Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental (Sisla)⁷ — implantado no estado de Mato Grosso do Sul, o qual permite a coleta, a organização, a integração e o gerenciamento de informações georreferenciadas relacionadas a processos de licenciamento ambiental por parte de órgãos governamentais (Speranza et al., 2011) — e no Sistema Interativo de Análise Geoespacial da Amazônia Legal (Siageo Amazônia)⁸, que reúne de forma sistematizada as informações geoes-

⁴ Disponível em: www.satveg.cnptia.embrapa.br.

⁵ Disponível em: www.terraclass.gov.br.

⁶ Disponível em: dpi.inpe.br/tccerrado.

⁷ Disponível em: sisla.imasul.ms.gov.br.

⁸ Disponível em: www.amazonia.cnptia.embrapa.br.

paciais utilizadas e produzidas nas diversas iniciativas de zoneamento ecológico-econômico (ZEE) da região da Amazônia.

Computação científica

As técnicas de computação científica irão contribuir para a análise e processamento do grande volume de dados que vem sendo produzido na agricultura, por diferentes fontes tais como: a) sensores que podem ser embarcados em satélites, drones ou máquinas agrícolas, instalados diretamente no campo ou em diferentes “coisas”, conforme preconizado pela IoT; b) dados biológicos gerados a partir das ciências “ômicas” ou c) dados que podem ser obtidos em plataformas colaborativas ou mídias sociais (ciência do cidadão), entre outros.

A computação científica consiste em um conjunto de técnicas, ferramentas e teorias que englobam inteligência artificial; matemática; estatística; física e computação; e abrange conhecimentos específicos de subáreas, tais como estatística aplicada; econometria; matemática aplicada; inteligência computacional; visualização científica e biometria, que é central no desenvolvimento de novas tecnologias agrícolas, agora no contexto da emergente agricultura digital. Nas últimas décadas, inclusive, a computação científica tem sido apontada como o terceiro pilar da pesquisa científica, junto com a experimentação e a teoria (Souza et al., 2017).

Por meio dessas técnicas, será possível, a partir dos dados coletados, extrair informações e conhecimentos que auxiliarão no processo de tomada de decisão em todos os elos das cadeias produtivas, tornando-se centrais no desenvolvimento de novas soluções e tecnologias agrícolas no contexto da agricultura digital (Ternes et al., 2020).

Uma aplicação nessa área é o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), que conside-

ra uma ampla gama de atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos, além de aspectos ambientais, tais como clima, vegetação, relevo, material originário, condições hídricas, características externas ao solo e relações solo e paisagem (Santos et al., 2013). Para tanto, a Embrapa Agricultura Digital e a Embrapa Solos conceberam duas ferramentas inteligentes para classificação automática de solos. A primeira refere-se ao desenvolvimento de um sistema especialista que contém as regras do SiBCS de forma automática para classificação de solos. O SiBCS simula o raciocínio de um profissional especialista do domínio ao realizar a classificação de perfis de solo (Vaz et al., 2018, 2019a, 2019b). O SiBCS vai fornecer as informações para o Sistema Web SoloClass⁹ para classificação de perfis de solos, para acesso pelo usuário final. O sistema permite que um usuário forneça, como entrada, um conjunto de variáveis de um ou mais perfis de solo, e receba, como resultado, a classificação de cada perfil de acordo com o SiBCS, com uma probabilidade associada à classe prevista.

No setor sucroalcooleiro, a tecnologia *blockchain* será utilizada para a rastreabilidade de processos da indústria, permitindo a rápida tomada de decisão nos processos da cadeia produtiva e fornecendo conhecimento para o consumidor preocupado com informações sobre a origem dos alimentos que consome. Além disso, a adoção dessa tecnologia vai permitir a confiabilidade no compartilhamento de dados nas fases agrícola, industrial, certificação e distribuição da cadeia produtiva. Essa aplicação será descrita no capítulo Tecnologia *Blockchain* para Rastreabilidade de Cadeia Produtiva Sucroalcooleira.

Na área de sanidade vegetal, um exemplo é o desenvolvimento de ferramentas biomatemáticas para auxiliar no monitoramento, amostra-

⁹ Disponível em: www.soloclass.cnptia.embrapa.br.

gem, detecção e erradicação do huanglongbing (HLB) ou greening dos citros, uma doença que atinge a produção de laranja nacional (Barbosa, 2015, 2019). A doença é transmitida pelo psíldeo *Diaphorina citri*, que adquire as bactérias ao se alimentar da seiva de plantas infectadas, transmitindo-as posteriormente para plantas saudáveis.

A ferramenta Fazenda Pantaneira Sustentável (FPS)¹⁰ avalia a sustentabilidade de sistemas de produção de gado de corte em regiões complexas e dinâmicas, como é o caso do Pantanal, de modo que seja possível verificar os pontos fracos do sistema e buscar boas práticas de manejo para obter a sustentabilidade (Santos et al., 2014a, 2014b, 2015, 2017; Soares et al., 2014; Abreu et al., 2015; Amâncio et al., 2016). Para tanto, a FPS emprega técnicas de modelagem matemática e computacional, como a teoria de conjuntos nebulosos, lógica nebulosa e sistemas de inferência baseados em lógica nebulosa. Seu principal uso está relacionado com o diagnóstico (grau de sustentabilidade) do sistema de produção de bovinos de corte na planície pantaneira por meio da avaliação de impactos ambientais, sociais e econômicos da atividade, auxiliando, assim, na gestão eficiente por meio da seleção de tecnologias e boas práticas de manejo. A ferramenta está sendo implantada em 15 fazendas no Pantanal de Mato Grosso com apoio da Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Mato Grosso (Famato), da Associação dos Criadores de Mato Grosso (Acimat), do Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (Senar), do Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária (Imea) e de sindicatos rurais; bem como em seis fazendas no Pantanal de Mato Grosso do Sul, com apoio da Federação da Agricultura e Pecuária de Mato Grosso do Sul (Famasul), do Senar e de sindicatos rurais. Melhorias serão incorporadas ao longo do

tempo em conjunto com técnicos, produtores e pesquisadores.

A irrigação inteligente e de precisão é uma pesquisa financiada pelo governo brasileiro e a União Europeia, que usa sensores, computação em nuvem e em névoa, além de técnicas de inteligência artificial e aprendizado de máquina para, a partir dos dados obtidos por sensores de solo e estações climatológicas, preverem a necessidade de irrigação. O projeto denomina-se Swamp (do inglês *Smart Water Management Platform*) e foi desenvolvido em parceria com a Universidade Federal do ABC (UFABC) (Kamienski; Visoli, 2018; Rodrigues; Silva, 2020).

Visão computacional

De acordo com Santos et al. (2020), a visão computacional é o campo da inteligência artificial dedicada à extração de informações a partir de imagens digitais. No contexto da agricultura digital, a visão computacional pode ser empregada na detecção de doenças e pragas, na estimação de safra e na avaliação não invasiva de atributos, como qualidade, aparência e volume, além de ser componente essencial em sistemas robóticos agrícolas.

Uma classe de problemas abordados pela visão computacional são os problemas ditos *perceptuais*: a detecção e a classificação de padrões nas imagens que são associados a um objeto de interesse, como frutos (Sa et al., 2016; Santos et al., 2020), animais (Barbedo et al., 2019) ou sintomas de doenças e pragas (Ferentinos, 2018; Barbedo, 2019). Esses padrões podem ser difíceis de encontrar, uma vez que as imagens capturadas apresentam uma grande variabilidade referente à iluminação, posição, oclusão e às fontes diversas de ruído (lentes sujas, poeira, interferência, etc.). Camargo Neto et al. (2019) mostraram a evolução do trabalho que vem sendo realizado, em parceria com o Fundo de Defesa da Citricultura (Fundecitrus), no reconhecimento de frutos de diver-

¹⁰ Disponível em: <https://www.fps.cnptia.embrapa.br>.

sas variedades de laranja, de diferentes níveis de maturação, com predominância de frutos verdes, em pés de laranja. Por sua vez, Santos et al. (2020) mostraram que, para uvas em viticultura — nas culturas que apresentam grande variabilidade em forma, cor, tamanho e compacidade —, os cachos podem ser detectados nas videiras. Outra aplicação diz respeito à identificação de doenças em plantas. A detecção e a classificação de sintomas de doenças, pragas e deficiências nutricionais de plantas em imagens são de enorme interesse na agricultura. A detecção automática possibilita o monitoramento constante, a busca por anomalias na cultura a partir de imagens capturadas por equipes de campo ou obtidas por câmeras acopladas em tratores, implementos, robôs ou veículos aéreos não tripulados (Vants). Já a classificação associa as anomalias detectadas à doença, deficiência ou praga, auxiliando o produtor na intervenção correta. Barbedo (2019) mostrou que essas técnicas de visão computacional podem ser aplicadas na classificação de um grande número de patologias em diversas culturas, atingindo valores de acurácia de 80 (maracujá) a 100% (mandioca, couve, algodão, trigo e cana-de-açúcar). Essas detecções acuradas são obtidas assim que puderem ser produzidas quando os sintomas já são severos. Entretanto, estudos adicionais devem ser feitos para permitir a detecção quando os sintomas ainda são brandos ou não ocupam grandes porções do tecido vegetal, sendo justamente o momento ideal para intervenção pelo agricultor. A detecção de animais em pastagens é outra aplicação que poderá auxiliar o monitoramento de enormes áreas, como a detecção de gado na pecuária extensiva (Barbedo et al., 2019).

No capítulo Inovação e desenvolvimento tecnológico na fertilização de lavouras, serão apresentadas algumas técnicas para o monitoramento do estado nutricional das plantas e para a detecção de deficiências passíveis de correção. A ênfase é

dada a técnicas baseadas em imagens digitais e aprendizado de máquina, as quais têm mostrado o maior potencial para uso em tecnologias que possam ser usadas efetivamente no campo. Esse capítulo considera tanto técnicas que fazem uso de imagens proximais, as quais normalmente são capturadas usando-se câmeras convencionais, quanto imagens capturadas remotamente usando-se Vants, aeronaves tripuladas e satélites.

Outra classe de problemas são os *geométricos*, nos quais a visão computacional permite a reconstrução tridimensional (3D) a partir de um conjunto de imagens da mesma cena a partir de imagens obtidas por Vants popularmente conhecidos como drones. Metodologias baseadas em visão computacional geométrica têm sido empregadas em estudos geológicos (Westoby et al., 2012), na avaliação de altura de pastagens (Forsmo et al., 2018) e no mapeamento de culturas (Comba et al., 2018), entre outros usos. A combinação da informação 3D com a detecção de frutos em cada imagem permite que a posição espacial de cada fruto seja determinada e que o mesmo fruto não seja contabilizado mais de uma vez; quando os frutos aparecem em múltiplas imagens, apresentam uma reconstrução tridimensional de uma linha de videiras em campo, a partir dos quadros de uma sequência de vídeo produzida por uma câmera embarcada em um veículo de serviço (Santos et al., 2020). Outras aplicações nessa área são identificar os frutos nos pés e estimar seu volume e peso (Santos et al., 2017).

A partir de imagens capturadas por equipes de campo ou obtidas por câmeras acopladas em tratores, implementos, robôs ou drones, um monitoramento constante e eficiente pode ser realizado: 1) a busca por anomalias na cultura ou na criação; 2) a avaliação de variabilidade espacial da cultura para intervenção, segundo os preceitos da agricultura de precisão; e 3) a atuação autônoma por máquinas e implementos (Santos et al., 2020).

Um grande desafio da robótica agrícola é a colheita automatizada de frutas. Enquanto culturas como grãos, cana-de-açúcar e café contam com maquinário próprio para colheita automatizada, a mesma condição não vale para a horticultura e fruticultura. As culturas de pomicultura, pimentões, alface, morango e kiwi têm sido investigadas para a realização de colheita automática (Bac et al., 2017; Birrell et al., 2020; Williams et al., 2020; Xiong et al., 2020).

Agricultura de precisão

A agricultura de precisão é uma estratégia de gestão que coleta, processa e analisa dados temporais, espaciais e individuais e os combina com outras informações para apoiar as decisões de gerenciamento de acordo com a variabilidade estimada para melhorar a eficiência no uso de recursos, produtividade, qualidade, rentabilidade e sustentabilidade da produção agropecuária (Springer, 2019). As técnicas de agricultura de precisão aliadas às novas tecnologias relacionadas à agricultura digital, tais como processamento em nuvem, processamento de alto desempenho, conectividade e inteligência artificial, para análise de dados, têm possibilitado o mapeamento e entendimento mais preciso das áreas de produção como também a construção de soluções mais inteligentes para atuação no campo (Grego et al., 2020).

Algumas pesquisas da Embrapa nessa área incluem: 1) caracterização da variabilidade espacial dos sistemas de produção de cafés especiais do sul de Minas Gerais, permitindo diferenciar a qualidade do café produzido (Rodrigues et al., 2019b; Speranza et al., 2019b); 2) comportamento espacial e espectral em cana-de-açúcar correlacionado com a condutividade elétrica do solo, que pode otimizar indiretamente a amostragem espacial de áreas de cultivo e promover a economia de quantidade de coletas e custos para a análise do solo, além de poder ser um indicador

para manejos diferenciados na mesma safra da lavoura de cana (Grego et al., 2019; Rodrigues et al., 2019a; Sanches et al., 2019, Speranza et al., 2019a); 3) estudo do uso de agricultura de precisão em sistemas de manejo de fibras e grãos no estado de Mato Grosso, com experimentos de resposta da cultura de algodão com relação à aplicação de diferentes doses de adubação nitrogenada nas parcelas virtuais (Ronquim, 2010); 4) aplicação localizada de inseticida na cultura de soja, resultando em economia de 17% no uso de inseticida quando comparado com o manejo integrado de pragas e 45% na comparação com o manejo tradicional (Roggia et al., 2020); e 5) desenvolvimento de sistemas automatizados aplicados à agricultura de precisão, visando ao planejamento, controle e monitoramento de doenças e pragas em diversas culturas, entre elas, milho e cana-de-açúcar, por meio de uma parceria entre a startup Bem Agro e a Embrapa Instrumentação (Rodrigues et al., 2020).

O capítulo Aplicação da Agricultura de Precisão em Cana-de-açúcar vai apresentar a adoção de técnicas ligadas à agricultura de precisão como uma grande oportunidade de tornar o sistema produtivo da cana-de-açúcar mais eficiente, aumentando a produtividade e reduzindo custos, considerando os benefícios e os desafios de seu uso.

Bioinformática e biotecnologia

A biotecnologia compreende a manipulação de microrganismos, plantas e animais, com vistas à obtenção de processos e produtos de interesse para a sociedade. Parte significativa dos resultados obtidos no incremento da produtividade, melhoria na qualidade e segurança bem como a criação de novos produtos agropecuários são consequência direta da utilização de ferramentas biotecnológicas, como marcadores moleculares, edição gênica, transgenia, microbioma e também técnicas de fenotipagem mais precisas e

em larga escala para aprimorar processos de avaliação, seleção e melhoramento genético, focando em características que afetam produtividade e qualidade dos produtos gerados. A biotecnologia tem sido fundamental para o avanço observado na agropecuária nos últimos 30 anos.

A Embrapa é uma das instituições públicas líderes em biotecnologia, com êxitos de pesquisa, como a clonagem de animais e o desenvolvimento pioneiro no Brasil de plantas geneticamente modificadas. A Empresa está desenvolvendo novas variedades geneticamente modificadas de feijão, cana-de-açúcar, soja, milho, arroz e trigo, com tolerância à seca, um dos estresses que pode afetar as lavouras em um cenário de mudanças do clima (Embrapa, 2019).

De acordo com Zerlotini Neto et al. (2020), a bioinformática, área multidisciplinar responsável pela análise do grande volume de dados resultantes das tecnologias genômicas, tornou-se essencial nesse avanço. Com o advento das chamadas tecnologias de sequenciamento de nova geração, passou a ser produzido um volume extraordinariamente grande de dados genômicos. Na era da transformação digital, a capacidade de geração de dados biológicos cada vez mais rápida, com valores mais acessíveis e em maior volume, produz uma vasta quantidade de dados, o *big data*. Esse grande e crescente volume de dados exige soluções em pelo menos três âmbitos: 1) infraestrutura escalável, 2) gerenciamento dos dados e 3) uso inteligente desses dados.

A Embrapa conta com iniciativas importantes nessa área. Uma delas é o Laboratório Multiusuário de Bioinformática (LMB)¹¹, que tem o propósito de dar suporte em bioinformática a projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) e que tem atuado como parte fundamental em projetos de pesquisa da Embrapa

e de instituições parceiras, envolvendo mais de 20 culturas e criações estudadas em mais de 50 projetos de pesquisa. Uma peculiaridade importante é que, em bioinformática, cada projeto é único e a equipe do LMB trabalha para atender a essas demandas. Sua atuação em bioinformática baseia-se nas áreas de análise da expressão gênica; montagem e análise de genomas; identificação de marcadores moleculares; análise de transcriptomas e metagenomas; estudos de evolução; modelagem de sistemas biológicos; predição de estruturas proteicas e interação molecular; interação ou inibição de moléculas; entre outras atividades.

Pesquisas têm sido desenvolvidas no âmbito do LMB, envolvendo várias Unidades da Embrapa e instituições parceiras, a saber: a) estudos para determinar o grau de parentesco e pureza de espécie do tambaqui (Lobo et al., 2020), importante produto na cadeia produtiva de pescado cuja exportação, em 2021, foi de 225 toneladas, segundo o *Anuário PeixeBr da Piscicultura* (2022); e b) desenvolvimento de vacinas para o controle do carrapato bovino, entre outras. Há, ainda, o desenvolvimento de várias ferramentas de análise de dados, como a Machado¹² (Mudadu; Zerlotini Neto, 2020), que possui funcionalidade de carregamento para dados genômicos e, também para resultados de análises de softwares conhecidos no meio biológico, tais como Blast¹³ e InterproScan¹⁴. Estes softwares possuem uma interface web que contém uma poderosa ferramenta de busca a qual permite filtrar e ordenar os resultados de forma rápida. Outra ferramenta é o sistema web para recuperação de informação de pedigree, fenótipos e genótipos de animais, o qual, atualmente, encontra-se em

¹¹ Disponível em: <https://www.embrapa.br/laboratorio-de-bioinformatica>.

¹² Disponível em: <https://www.machado.cnptia.embrapa.br/plantannot>.

¹³ Disponível em: <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>.

¹⁴ Disponível em: <https://www.ebi.ac.uk/interpro/search/sequence>.

processo de homologação pelos usuários (Zerlotini Neto et al., 2020).

A segunda iniciativa é o Centro de Pesquisa em Genômica Aplicada às Mudanças Climáticas (do inglês *Genomics for Climate Change Research Center – GCCRC*), resultante da parceria entre Embrapa, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), unindo competências das duas primeiras instituições em biotecnologia agrícola. O centro tem como missão desenvolver, ao longo de 10 anos, ativos biotecnológicos que aumentem a tolerância de plantas à seca e ao calor, bem como transferir as tecnologias desenvolvidas ao setor produtivo. Os ativos biotecnológicos em desenvolvimento podem se encaixar em diferentes estratégias de proteção intelectual, que equilibram a captura de valor e o acesso à tecnologia. Esses ativos incluem, mas não estão limitados a genes, alelos e construções gênicas, inoculantes microbianos, comunidades sintéticas de microrganismos, novas tecnologias de suporte, como métodos e elementos reguladores de expressão gênica, além de know-how regulatório e patentário. A espécie escolhida como alvo dos trabalhos de pesquisa foi o milho, uma das mais importantes culturas agrícolas no Brasil e no mundo, e que possui ampla disponibilidade de recursos genéticos e genômicos. Entretanto, as tecnologias desenvolvidas poderão potencialmente ser transferidas para demais culturas agrícolas (Yassitepe et al., 2020).

Uma das pesquisas focou no estudo do aumento da tolerância da cana-de-açúcar ao estresse hídrico, e, atualmente, houve a liberação planejada e controlada no meio ambiente (LPMA) de dois eventos de cana-de-açúcar geneticamente modificados (GM). No momento, as plantas de cana GM estão sendo avaliadas para suas características agrônômicas, morfológicas e genéticas (análises de expressão gênica) para a

seleção de três eventos por construção gênica com o melhor desempenho para os parâmetros descritos anteriormente. Na execução da segunda etapa, os três eventos selecionados serão utilizados para a montagem de um novo experimento no campo, onde as canas GM serão avaliadas em condições de seca e de irrigação contínua (Heleodoro et al., 2019).

Ecosistema de inovação da agricultura digital

Ciente da necessidade da promoção da agricultura digital no Brasil, a Embrapa Agricultura Digital propõe o ecossistema de inovação da agricultura digital, conforme ilustrado na Figura 2.1. Esse ecossistema permitirá a oferta de infraestrutura como serviço, plataforma como serviço e software como serviço. O serviço de infraestrutura será disponibilizado como um datacenter, oferecendo armazenamento em nuvem e compartilhamento de processamento. O serviço de plataforma é baseado na AgroAPI¹⁵ e permite que informações e modelos gerados pela Embrapa possam ser acessados por meio de APIs (do inglês *Application Programming Interface*), que são conjuntos de linguagens de programação que possibilitam a comunicação entre diferentes sistemas. O serviço de software será ofertado como aplicativos na loja da Google ou por aplicações web, como o sistema de informações agrometeorológicas Agritempo.

Esse ambiente colaborativo também tem como missão viabilizar soluções para programas de pesquisa e seus parceiros (estaduais ou federais) relacionados à bioeconomia, biotecnologia e climatologia de interesse do setor agropecuário.

A Embrapa propõe sua participação nesse novo ecossistema de inovação da agricultura digital, o qual é centrado na contribuição de novas tec-

¹⁵ Disponível em: <https://www.embrapa.br/agroapi>.

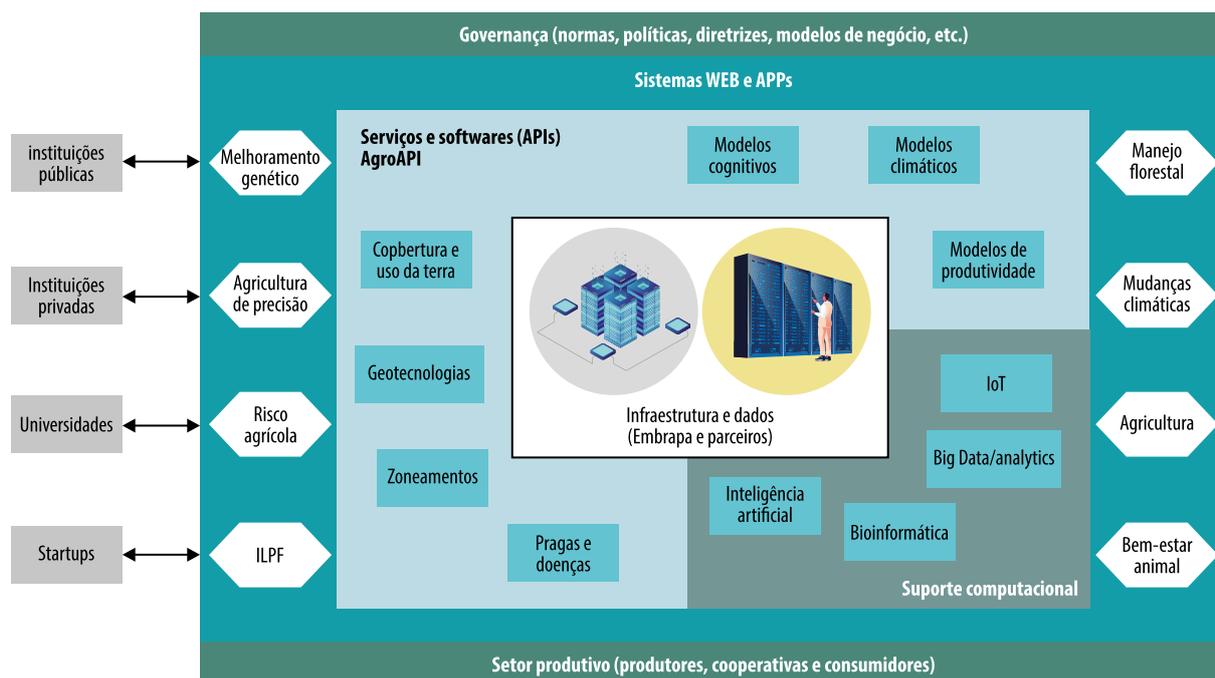


Figura 2.1. Ecossistema de inovação da agricultura digital.

Fonte: Massruhá et al. (2020b).

nologias disruptivas para a agregação de valor à produção, para o aumento da rentabilidade do agricultor e para a segurança alimentar. Essa realidade impõe novos desafios às entidades ligadas ao setor, como a Embrapa, as quais devem atuar cada vez mais em cooperação, compartilhando expertise e conhecimentos para o desenvolvimento de novas soluções, tecnologias e negócios. Como empresa pública de pesquisa, a Embrapa reúne condição de exercer um papel de facilitadora nesse ambiente de inovação aberta, fazendo a ponte entre seus diversos atores; um ambiente que inclui produtores rurais, setor público, instituições de pesquisa, startups e empresas da área de tecnologias da informação e comunicação (TICs) e do agro. Nesse ecossistema, a Embrapa se dispõe a oferecer serviços e conhecimentos que podem ser compartilhados por todo o agronegócio, visando à transformação digital no campo.

Os produtores, as cooperativas, os agricultores e as empresas de tecnologia, startups e de transformação se beneficiarão de toda essa infraes-

trutura, uma vez que terão acesso a uma vasta informação agregada, analisada e disponibilizada que auxiliará sua tomada de decisão.

Nesse contexto, também está sendo instituída a política de dados, que inclui: 1) valores; 2) propriedade; 3) controle de acesso; 4) compartilhamento; e 5) curadoria e proteção. Nesse sentido, estão sendo definidos: contrato de uso de dados que enderece a unicidade dos dados, acordo de uso, certificado e auditoria por terceira parte. Serão usados os critérios de volume, velocidade, variedade e veracidade para valorar os dados.

As Unidades da Embrapa atuarão no desenvolvimento e inovação voltados para a interface agricultura (atividades agrícolas, pecuárias, florestais e agroindustriais) e meio ambiente, conciliando as demandas dos sistemas produtivos com as necessidades de conservação de recursos naturais e preservação ambiental. Por meio desse ecossistema, a Embrapa poderá disponibilizar infraestrutura compartilhada de importantes laboratórios multiusuários, como o Laboratório Multiusuário de Bioinformática

(LMB), o Laboratório Nacional de Referência em Agricultura de Precisão (Lanapre), o Laboratório Nacional de Nanotecnologia para o Agronegócio (LNNA), o Laboratório Multiusuário de Espectrorradiometria (Labspec), o Laboratório Multiusuário de Química de Produtos Naturais (LMQPN), o Laboratório Multiusuário de Biossegurança para a Pecuária (Biopec), o Laboratório Multiusuário de Biologia Molecular (LMBM), o Laboratório de Análise em Sistema Sustentável (Lass) e o Complexo Multiusuário de Bioeficiência e Sustentabilidade da Pecuária (CMB) composto por quatro laboratórios: a) Metabolismo e Impactos Ambientais da Pecuária; b) Biotecnologia e Ambiência; c) Pecuária de Precisão; e d) Saúde Animal.

Outra contribuição da Embrapa é a disponibilização de estrutura de campos experimentais que possibilitem a transformação digital no campo, por meio da colheita remota de dados, assim como o gerenciamento e tomada de decisão, viabilizada pela interação de animais eletronicamente identificados, equipamentos, atuadores e sensores. Todo esse ecossistema terá uma governança regida por normas, políticas e modelos de negócios acordados entre os parceiros e em conformidade com as diretrizes estabelecidas pelo governo federal.

No âmbito dessa proposta, várias iniciativas vêm sendo realizadas, incluindo a promoção do programa TechStart AgroDigital (TSAD)¹⁶, em parceria com a Venture Hub, o qual objetivou a aceleração das startups inscritas, tendo recebido mais de 160 inscrições desde o seu início em 2019. A Embrapa também tem se envolvido em muitas ações de mentorias no universo das AgTechs, como no âmbito do programa PIPE da Fapesp, no Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae-Piracicaba) e em rodadas de negócios estabelecidas nos even-

tos *100 Open-Startups* (2017) e *SBI AgroConect@* (2017 e 2019), os quais também foram importantes no intuito de aproximar equipes da Embrapa Agricultura Digital ao ambiente empresarial e, em especial, de startups (Romani et al., 2020). Em 2020, o consórcio formado pela Baita Aceleradora, Instituto Eldorado e a Embrapa Agricultura Digital foi um dos selecionados no Edital Softex nº 01/2020 – Edital de Qualificação de Instituições de Apoio ao Processo de Pesquisa, Desenvolvimento, Inovação e Aceleração de Projetos IA²MCTIC, que é um programa de inovação aberta com objetivo de aceleração tecnológica de soluções de impacto por meio da incorporação de inteligência artificial. O programa tem como áreas prioritárias: agronegócio, saúde, indústria e cidades inteligentes.

No que se refere à parceria com empresas, vários acordos de cooperação técnica têm sido estabelecidos visando ao desenvolvimento de projetos conjuntos que possam aproximar as pesquisas com a realidade do campo. Entre eles destaca-se o estabelecimento da cooperação com a Coplacana. O projeto tem como objetivos: 1) criação de um modelo de rastreamento e compartilhamento de dados da cadeia produtiva da cana-de-açúcar (cana convencional e cana-energia) utilizando-se tecnologia *blockchain*; 2) coleta, processamento, armazenamento e disponibilização de análises de imagens obtidas por Vants e/ou drones em lavouras de cana-de-açúcar; 3) modelagem da produtividade de canaviais utilizando-se parâmetros de fertilidade e física do solo associada ao método de diagnose do estado nutricional DRIS; e 4) avaliação do efeito per se e sinérgico de elicitores biológicos (oligonucleotídeos) na produtividade de cana-de-açúcar. Alguns resultados iniciais nesse projeto serão apresentados nos capítulos desta obra.

A Coplacana atua no ecossistema de inovação por meio do Avance Hub (Avance, 2020a), seu hub de inovação, com sede no AgTech Garage

¹⁶ Disponível em: <https://venturehub.se/techstart-agro-digital>.

em Piracicaba, SP. O Avance Hub tem o objetivo de conectar as empresas com tecnologias disponíveis para que façam ligação direta com os seus cooperados. Pelo hub é possível validar e disponibilizar comercialmente os produtos, serviços e soluções de diversos setores, como: agronegócio, saúde, telecomunicações, mineração, financeiro, inclusive abrangendo as pequenas e médias empresas. O Avance Hub da Coplacana atua na inovação com a visão baseada em quatro pilares:

- 1) Avanço tecnológico: busca soluções em tecnologia capazes de impactar e revolucionar os modelos de negócios e a sociedade (parceria da Embrapa e adoção de novas tecnologias).
- 2) Profissionais dedicados à inovação: valorização dos produtos, serviços ou soluções frutos de inovações criadas por pesquisadores, cientistas e empreendedores criativos, a fim de transformar e de oferecer bons negócios ao público-alvo. O Avance Hub dispõe de equipe altamente experiente e capacitada para avaliação das novas tecnologias apresentadas.
- 3) Apoio ao empreendedor: valorização de novas ideias, da diversidade de criações, de forma profissional e preparada para alavancar as soluções para o mercado.
- 4) Retorno à sociedade: uma aceleradora de novos negócios para trazer melhorias e soluções inteligentes em diversas áreas como contribuição para a evolução tecnológica da sociedade (Avance, 2020a).

Além disso, o Avance Hub prioriza a sustentabilidade econômica de startups, buscando um equilíbrio entre o faturamento e o investimento. Para o Avance Hub, apostar em produtos, serviços e soluções ambientalmente sustentáveis também é um fator essencial e relevante para as escolhas dos investimentos. As startups, apoiadas

pelo Avance Hub, contam com a Fazenda Digital na Estação Experimental da Coplacana para testar e validar suas tecnologias (Avance, 2020b). Investimentos em startups, como @Tech (@Tech, 2020) do setor da pecuária, e fomento à produção inovadora são algumas das apostas do hub, que também tem a vertente em ventures capital (Avance, 2020b).

Nesse contexto, o Avance Hub criou iniciativas para fomentar a cultura interna da inovação com os colaboradores da cooperativa, que participam do Programa de Inovação da Coplacana (PIC). Em andamento, o PIC já movimenta os colaboradores com suas ideias, sugestões e criatividade, apresentando alternativas e soluções que podem ser aplicadas na rotina da cooperativa (Avance, 2020b).

Desafios, tendências e oportunidades

Apesar do crescente interesse e esforço na implantação da agricultura digital, existem desafios científicos, tecnológicos, sociais e econômicos a serem superados, conforme apontado em Bolfe et al. (2020). Entre os desafios científicos e tecnológicos, podem-se citar: 1) a crescente demanda por serviços digitais online em que existe a preocupação com a segurança dos dados captados por esses serviços e a necessidade de sintonia entre a demanda dos produtores e a informação disponibilizada; 2) a gestão e o monitoramento da produção vegetal, incluindo o monitoramento de estresses de forma precoce, com vistas a, por exemplo, determinar a probabilidade de incidência de doenças; 3) a gestão e o monitoramento da produção animal, como no sistema extensivo de produção onde, por meio de uso de sensores afixados em animais, podem-se coletar informações para detectar doenças, definir programas de engorda ou determinar o ponto de abate. Por sua vez, o uso de drones pode auxiliar na contagem de animais

numa determinada área; e 4) o desenvolvimento de bases de dados agrícolas confiáveis para uso de programas de técnicas de aprendizado de máquina (Bolfé et al., 2020).

Entre os desafios socioeconômicos encontram-se a carência de conectividade no campo, a necessidade da diminuição dos custos das tecnologias digitais para torná-las acessíveis para um número cada vez maior de agricultores, o deslocamento da população rural para o campo alterando a sucessão hereditária no comando/gestão das propriedades e a demanda pela promoção do desenvolvimento rural de forma sustentável (Bolfé et al., 2020).

Nesse escopo vislumbram-se também tendências e oportunidades que vão impulsionar a implantação da agricultura digital, como: 1) a oferta e intensificação do uso das tecnologias digitais e disruptivas; 2) o aumento da oferta de capacitações, inclusive online, nesses temas; 3) o maior nível de informação dos consumidores demandando produtos mais nutritivos e funcionais, além da rastreabilidade quanto à forma como são produzidos; 4) o advento da economia digital com o uso de criptomoedas; 5) o surgimento da economia de baixo contato em razão da pandemia da covid-19; 6) o lançamento de plataformas digitais que integram informações de gestão da propriedade, da produção e da comercialização, e que estão disponíveis para acesso ao agricultor via computadores ou smartphone; 7) a disponibilidade de sistemas de projeções de riscos futuros; 8) a intensificação dos processos de rastreabilidade e certificação; e 9) a emergência de uma sociedade digital (Bolfé et al., 2020).

A expectativa é que, com o trabalho colaborativo de órgãos do governo e instituições públicas e privadas, os desafios sejam superados para que se possa implantar a agricultura digital no País.

Considerações finais

Este capítulo apresentou a transformação digital que impulsionou a quarta revolução industrial, provocando o surgimento da Indústria 4.0 e inspirando a implantação de novas tecnologias na agricultura e o consequente despontar da agricultura digital ou Agricultura 4.0.

Nesse contexto, a Embrapa e a Coplacana têm atuado em diferentes linhas de pesquisa, procurando trazer o conhecimento digital para o campo a fim de garantir, ou mesmo ampliar, sua capacidade de produção com sustentabilidade, ao mesmo tempo que atende à demanda por segurança alimentar e nutricional. Algumas linhas de pesquisa e seus resultados nas áreas de modelagem agroambiental, geotecnologias, computação científica, automação, biotecnologia e bioinformática foram apresentados.

Por entender que possui um papel importante na implantação da agricultura digital no País, a Embrapa está propondo o ecossistema de inovação na agricultura digital, no qual se coloca como um facilitador entre as empresas interessadas, no intuito de promover o trabalho colaborativo e a integração dos diversos segmentos e setores envolvidos. A Coplacana também investe na transformação digital do campo por meio das atividades do Avance Hub. Como resultante dos esforços de ambas as instituições, foi realizado um importante acordo de cooperação técnica entre a Coplacana e a Embrapa, visando ao desenvolvimento de tecnologias digitais voltadas para a área de cana-de-açúcar.

Por fim, foram apresentados os desafios e as tendências na área da agricultura digital para que todos os setores relativos ao agronegócio — envolvendo tanto grandes empreendedores como também a agricultura familiar e os pequenos e médios produtores — possam se beneficiar com a implantação das tecnologias digitais

no setor agrícola, garantindo a posição de grande exportador do Brasil.

Referências

@TECH: inovação tecnológica para a agropecuária.

Disponível em: <https://techagr.com>. Acesso em: 17 nov. 2020.

ABREU, U. G. P. de; LIMA, H. P. de; SANTOS, S. A.; MASSRUHÁ, S. M. F. S. **Protocolo: Índice Financeiro (IF) para a Fazenda Pantaneira Sustentável (FPS)**. Corumbá, MS: Embrapa Pantanal, 2015. 12 p. (Embrapa Pantanal. Documentos, 134). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1036669/1/DOC134.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2021.

ABSTARTUPS. **Tudo que você precisa saber sobre startups**. 2017. Disponível em: <https://abstartups.com.br/o-que-e-uma-startup>. Acesso em: 1 jun. 2020.

AGTECH GARAGE. **2º Censo AgTech Startups Brasil**: o maior levantamento de startups do agronegócio já realizado no Brasil. Disponível em: <https://www.agtechgarage.com/censo>. Acesso em: 2 jun. 2020.

ALMEIDA, C. A. de; COUTINHO, A. C.; ESQUERDO, J. C. D. M.; ADAMI, M.; VENTURIERI, A.; DINIZ, C. G.; DESSAY, N.; DURIEUX, L.; GOMES, A. R. High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. **Acta Amazonica**, v. 46, n. 3, p. 291-302, set. 2016. DOI: 10.1590/1809-4392201505504.

AMÂNCIO, C. O. da G.; ARAÚJO, M. T. B. D.; SANTOS, S. A.; NARCISO, M. G.; OLIVEIRA, M. D. de. **Protocolo: Índice de Bem-Estar Social (IBS) para a Fazenda Pantaneira Sustentável (FPS)**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2016. 16 p. (Embrapa Pantanal. Documentos 139). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1054996/1/DOC139.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2021.

ANUÁRIO PEIXEBR DA PISCICULTURA. São Paulo: Associação Brasileira de Piscicultura, 2022. 156 p. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br>. Acesso em: 1 dez. 2022.

AVANCE. **Avance Hub**: 1 ano de conexão com o mundo da tecnologia. [2020b]. Disponível em: <https://www.avancehub.com.br/avance-hub-1-ano-de-conexao-com-o-mundo-da-tecnologia>. Acesso em: 17 nov. 2020.

AVANCE: tecnologia para o mundo. 2020a. Disponível em: <https://www.avancehub.com.br/avance>. Acesso em: 17 nov. 2020.

BAC, C. W.; HEMMING, J.; VAN TUIJL, B. A. J.; BARTH, R.; WAIS, E.; VAN HENTEN, E. J. Performance evaluation

of a harvesting robot for sweet pepper. **Journal of Field Robotics**, v. 34, n. 6, p. 1123-1139, Sept. 2017. DOI: 10.1002/rob.21709.

BARBEDO, J. G. A. Plant disease identification from individual lesions and spots using deep learning. **Biosystems Engineering**, v. 180, p. 96-107, Apr. 2019. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2019.02.002.

BARBEDO, J. G. A.; KOENIGKAN, L. V.; SANTOS, T. T.; SANTOS, P. M. A study on the detection of cattle in UAV images using deep learning. **Sensors**, v. 19, n. 24, p. 1-14, Dec. 2019. DOI: 10.3390/s19245436.

BARBOSA, F. F. L. **HLB BioMath fase 2**: abordagem biomatemática como suporte a defesa fitossanitária e avaliação ex-ante de tecnologias de manejo. Cruz das Almas: Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura, 2015. 26 p. (Embrapa. Macroprograma 2 - Competitividade e Sustentabilidade Setorial. Projeto 02.13.03.007.00.00). Projeto concluído.

BARBOSA, F. F. L. **HLB BioMath fase 3**: biomatemática aplicada à otimização de tecnologias de interposição de barreiras, modificação microambiental e exclusão para manejo do huanglongbing dos citros. Cruz das Almas: Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura, 2019. 40 p. (Embrapa. Tipo II - Desenvolvimento e Validação. Projeto 20.18.03.044.00.00). Projeto em execução.

BIRRELL, S.; HUGHES, J.; CAI, J. Y.; IIDA, F. A field-tested robotic harvesting system for iceberg lettuce. **Journal of Field Robotics**, v. 37, n. 2, p. 225-245, Mar. 2020. DOI: 10.1002/rob.21888.

BOLFE, E. L.; BARBEDO, J. G. A.; MASSRUHÁ, S. M. F. S.; SOUZA, K. X. S. de; ASSAD, E. D. Desafios, tendências e oportunidades em agricultura digital no Brasil. In: MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A.; OLIVEIRA, S. R. de M.; MEIRA, C. A. A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; BOLFE, E. L. (ed.). **Agricultura digital**: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas. Brasília, DF: Embrapa, 2020. p. 380-406. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1126283/1/LV-Agricultura-digital-2020-cap16.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2020.

BOLFE, E. L.; LOPES, D. B.; CONTINI, E. Territórios & políticas públicas rurais. **Clima com Cultura Científica**, v. 3, n. 6, p. 1-15, ago. 2016. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1119014/1/TerritoriospoliticaspublicasruraisClimaCom.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2020.

BRASIL. Decreto nº 9.841, de 18 de junho de 2019. Dispõe sobre o Programa Nacional de Zoneamento Agrícola de Risco Climático. **Diário Oficial da União**: seção 1, p. 4, 19 jun. 2019.

- BRASIL. Resolução nº 4.796, de 2 de abril de 2020. Estabelece medidas de caráter emergencial para os procedimentos de comunicação de perdas, de comprovação de perdas e de cálculo de coberturas para as operações enquadradas no Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro) de que trata o Capítulo 16 do Manual de Crédito Rural (MCR). **Diário Oficial da União**: seção 1, p. 84, 3 abr. 2020.
- CAMARGO NETO, J.; TERNES, S.; SOUZA, K. X. S. de; YANO, I. H.; QUEIROS, L. R. Uso de redes neurais convolucionais para detecção de laranjas no campo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 12., 2019, Indaiatuba. **Anais...** Ponta Grossa: SBIAGRO, 2019. p. 312-321. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1125722/1/PC-Redes-neurais-SBIAGRO-2019.pdf>. Acesso em: 8 fev. 2021.
- COMBA, L.; BIGLIA, A.; AIMONINO, D. R.; GAY, P. Unsupervised detection of vineyards by 3D point-cloud UAV photogrammetry for precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 155, p. 84-95, Dec. 2018. DOI: [10.1016/j.compag.2018.10.005](https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.10.005).
- COPLACANA: orgulho do Agro. 2020. Disponível: <http://www.coplacana.com.br>. Acesso em: 27 jul. 2020.
- CUADRA, S. V.; VICTORIA, D. de C.; PELLEGRINO, G. Q.; BOLFE, E. L.; MONTEIRO, J. E. B. de A.; ASSAD, E. D.; OLIVEIRA, A. F. de; FASIABEN, M. do C. R.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; BATISTELLA, M.; BARIONI, L. G.; NAKAI, A. M.; SILVA, F. C. da; MATSUURA, M. I. da S. F. Modelagem agroambiental e a transformação digital da agricultura. In: MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A.; OLIVEIRA, S. R. de M.; MEIRA, C. A. A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; BOLFE, E. L. (ed.). **Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. p. 68-93. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1126216/1/LV-Agricultura-digital-2020-cap3.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2020.
- DIAS, C. N.; JARDIM, F.; SAKUDA, L. O. (coord.). **Radar AgTech Brasil 2019: mapeamento das startups do setor agro brasileiro**. Brasília, DF: Embrapa; São Paulo: VP Ventures: Homo Ludens, 2019. 80 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1116167/1/RadarAgtech26112019.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2020.
- EMBRAPA. Secretaria Geral. Gerência de Comunicação e Informação. **Embrapa em números**. Brasília, DF, 2019. 140 p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/212612/1/Embrapa-em-Nu769meros.pdf>. Acesso em: 3 fev. 2021.
- ESQUERDO, J. C. D. M.; ANTUNES, J. F. G.; COUTINHO, A. C.; SPERANZA, E. A.; KONDO, A. A.; SANTOS, J. L. dos. SATVeg: a web-based tool for visualization of MODIS vegetation indices in South America. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 175, p. 1-9, Aug. 2020. DOI: [10.1016/j.compag.2020.105516](https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105516).
- FERENTINOS, K. P. Deep learning models for plant disease detection and diagnosis. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 145, p. 311-318, Feb. 2018. DOI: [10.1016/j.compag.2018.01.009](https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.01.009).
- FORSMOO, J.; ANDERSON, K.; MACLEOD, C. J. A.; WILKINSON, M. E.; BRAZIER, R. Drone-based structure-from-motion photogrammetry captures grassland sward height variability. **Journal of Applied Ecology**, v. 55, n. 6, p. 2587-2599, Nov. 2018. DOI: [10.1111/1365-2664.13148](https://doi.org/10.1111/1365-2664.13148).
- FREIRE, F. J.; SILVA, F. C. da; VENEGAS, V. H. A. Modelagem para fertilização e calagem na cultura de cana-de-açúcar. In: SILVA, F. C. da; ALVES, B. J. R.; FREITAS, P. L. de (ed.). **Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos**. Brasília, DF: Embrapa, 2016. v. 1, p. 490-547.
- GREGO, C. R.; SPERANZA, E. A.; RODRIGUES, C. A. G.; NOGUEIRA, S. F.; BAYMA, G.; CIFERRI, R. R.; LUCHIARI JÚNIOR, A. Definição de zonas de manejo em cana-de-açúcar usando séries temporais de NDVI derivados do satélite Sentinel-2A. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2019. 3 p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1108752/1/PLDefinicaoGrecoetalSBSR2019.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2020.
- GREGO, C. R.; SPERANZA, E. A.; RODRIGUES, G. C.; LUCHIARI JÚNIOR, A.; VENDRUSCULO, L. G.; RODRIGUES, C. A. G.; INAMASU, R. Y.; VAZ, C. M. P.; RABELLO, L. M.; JORGE, L. A. de C.; ZOLIN, C. A.; FRANCHINI, J. C.; RONQUIM, C. C. Tecnologias desenvolvidas em Agricultura de Precisão. In: MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A.; OLIVEIRA, S. R. de M.; MEIRA, C. A. A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; BOLFE, E. L. (ed.). **Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. p. 166-191. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1126469/1/Cap7-Tecnologias-desenvolvidas-em-agricultura-de-precisao.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2020.
- HELEODORO, T.; RIBEIRO, A. P.; MOLINARI, H. B. C.; KOBAYASHI, A. K.; VINECKY, F.; DE LUCA, P. C.; ARRUDA, P.; DANTE, R. A.; GERHARDT, I. R.; YASSITEPE, J. E. de C. T.; FERNANDES, F. R.; CANÇADO, G. M. de A. Liberação planejada no meio ambiente (LPMA) de plantas transgênicas de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 13., 2019, Campinas. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2019. p. 1-9. nº 19605. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/>

[doc/1111591/1/19605TalitaGeraldoCIIC2019Oral.pdf](#). Acesso em: 4 nov. 2020.

JONES, J. W.; ANTLE, J. M.; BASSO, B.; BOOTE, K. J.; CONANT, R. T.; FOSTER, I.; GODFRAY, H. C. J.; HERRERO, M.; HOWITT, R. E.; JANSSEN, S.; KEATING, B. A.; MUNOZ-CARPENA, R.; PORTER, C. H.; ROSENZWEIG, C.; WHEELER, T. R. Brief history of agricultural systems modeling. **Agricultural Systems**, v. 155, p. 240-254, July 2017. DOI: [10.1016/j.agsy.2016.05.014](#).

KAMIENSKI, C.; VISOLI, M. C. Swamp: uma plataforma para irrigação de precisão baseada na Internet das Coisas. **Fonte**, v. 15, n. 20, p. 76-84, dez. 2018. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1105001/1/APSwamp.pdf>. Acesso em: 4 fev. 2021.

LOBO, I. K. C.; NASCIMENTO, A. R. do; YAMAGISHI, M. E. B.; GUIGUEN, Y.; SILVA, G. F. da; SEVERAC, D.; AMARAL, A. da C.; REIS, V. R.; O'SULLIVAN, F. L. A. Transcriptome of tobacco *Colossoma macropomum* during gonad differentiation: different molecular signals leading to sex identity. **Genomics**, v. 112, n. 3, p. 2478-2488, May 2020. DOI: [10.1016/j.ygeno.2020.01.022](#).

MACARIO, C. G. do N.; ESQUERDO, J. C. D. M.; COUTINHO, A. C.; SPERANZA, E. A.; SILVA, J. dos S. V. da; ANTUNES, J. F. G.; VENDRUSCULO, L. G.; CRUZ, S. A. B. da. Geotecnologias na agricultura digital. In: MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A.; OLIVEIRA, S. R. de M.; MEIRA, C. A. A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; BOLFE, E. L. (ed.). **Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. p. 94-118. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1126226/1/LV-Agricultura-digital-2020-cap4.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2020.

MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; EVANGELISTA, S. R. M. A transformação digital no campo rumo à agricultura sustentável e inteligente. In: MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A.; OLIVEIRA, S. R. de M.; MEIRA, C. A. A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; BOLFE, E. L. (ed.). **Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas**. Brasília, DF: Embrapa, 2020b. p. 20-45. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1126214/1/LV-Agricultura-digital-2020-cap1.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2020.

MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A.; OLIVEIRA, S. R. de M.; MEIRA, C. A. A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; BOLFE, E. L. (ed.). **Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas**. Brasília, DF: Embrapa, 2020a. 406 p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1126213/2/LV-Agricultura-digital-2020.pdf>. Acesso em: 4 fev. 2021.

MONTEIRO, J. E. B. de A. **Aplicação de métodos de controle de qualidade, imputação e espacialização de dados meteorológicos para geração de uma base de dados consistente e completa**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2015. 29 p. (Embrapa. Macroprograma 3 - Desenvolvimento de Técnicas Analíticas e Experimentais. Projeto 03.14.08.003.00.00). Projeto concluído.

MUDADU, M. de A.; ZERLOTINI NETO, A. Machado: open source genomics data integration framework. **GigaScience**, v. 9, n. 9, p. 1-16, Sept. 2020. DOI: [10.1093/gigascience/giaa097](#).

RODRIGUES, C. A. G.; GREGO, C. R.; SANCHES, G. M.; SPERANZA, E. A.; RONQUIM, C. C.; SILVEIRA, H. L. F.; LUCHIARI JUNIOR, A. Índices de vegetação (Sentinel-2) da cana-de-açúcar relacionados com a condutividade elétrica aparente de solo. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 4., 2019, São Carlos, SP. **Ciência, inovação e mercado: anais**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2019a. p. 151-155.

RODRIGUES, G. C.; GREGO, C. R.; LUCHIARI, A.; SPERANZA, E. A. Caracterização espacial de índices de vegetação índice relativo de clorofila em áreas de produção cafés especiais no sul de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 10., 2019, Vitória, ES. **Pesquisa, inovação e sustentabilidade dos cafés do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Café, 2019b. 6 p.

RODRIGUES, N.; MAIO, A.; ROSSO, G.; GONÇALVES, D.; SILVA, J.; FRAGALLE, E. P. Pesquisa contribui para transformação digital da agricultura brasileira. [Brasília, DF]: Embrapa, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/51706860/pesquisa-contribui-para-transformacao-digital-da-agricultura-brasileira>. Acesso em: 24 jul. 2020.

RODRIGUES, N.; SILVA, J. **Brasil avança em tecnologia de irrigação de precisão com uso de internet das coisas**. [Brasília, DF]: Embrapa, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/54293512/brasil-avanca-em-tecnologia-de-irrigacao-de-precisao-com-uso-de-internet-das-coisas>. Acesso em: 24 jul. 2020.

ROGGIA, S.; VICENTE, L. E.; GREGO, C. R.; VICENTE, A. K.; MORAES, L. A. C.; LOEBMANN, D. G. dos S. W.; ARAUJO, L. S. de. Economize inseticidas e produza soja com melhor qualidade. **Jornal de Serviço Cocamar**, ano 42, n. 741, p. 27, jul. 2020.

ROMANI, L. A. S.; BAMBINI, M. D.; BARIANI, J. M.; DRUCKER, D. P.; MINITTI, A. F.; GONZALEZ, A. F.; KUROMOTO, V. M.; TELLES, G. A. de S.; ARAUJO, R. F.; DIAS, C. N.; ASSUNÇÃO, B. S. B. de; SOUZA, S. S. de; LUCHIARI JUNIOR, A.; MEIRA, C. A. A. Ecosistema de inovação em agricultura: evolução e contribuições da Embrapa. In: MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A.; OLIVEIRA, S. R.

- de M.; MEIRA, C. A. A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; BOLFE, E. L. (ed.). **Agricultura digital**: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas. Brasília, DF: Embrapa, 2020. p. 278-304. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1126275/1/LV-Agricultura-digital-2020-cap12.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2020.
- RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 27 p. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 8). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/882598/1/BPD8.pdf>. Acesso em: 10 out. 2020.
- SA, I.; GE, Z.; DAYOUB, F.; UPCROFT, B.; PEREZ, T.; MCCOOL, C. DeepFruits: a fruit detection system using deep neural networks. *Sensors*, v. 16, n. 8, p. 1-23, ago. 2016. DOI: [10.3390/s16081222](https://doi.org/10.3390/s16081222).
- SANCHES, G. M.; PAULA, M. T. N. de; MAGALHÃES, P. S. G.; DUFT, D. G.; VITTI, A. C.; KOLLN, O. T.; BORGES, B. M. M. N.; FRANCO, H. C. J. Precision production environments for sugarcane fields. *Scientia Agricola*, v. 76, n. 1, p. 10-17, Jan./Feb. 2019. DOI: [10.1590/1678-992x-2017-0128](https://doi.org/10.1590/1678-992x-2017-0128).
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.
- SANTOS, S. A.; CARDOSO, E. L.; CRISPIM, S. M. A.; SORIANO, B. M. A.; GARCIA, J. B.; BERSELLI, C. **Protocolo**: Índice de Conservação e Produtividade das Pastagens (ICPP) para a Fazenda Pantaneira Sustentável (FPS). Corumbá: Embrapa Pantanal, 2014a. 18 p. (Embrapa Pantanal. Documentos, 130). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1010365/1/DOC130.pdf>. Acesso em: 1 fev. 2021.
- SANTOS, S. A.; LIMA, H. P. de; MASSRUHÁ, S. M. F. S.; ABREU, U. G. P. de; TOMAS, W. M.; SALIS, S. M. de; CARDOSO, E. L.; OLIVEIRA, M. D. de; SOARES, M. T. S.; SANTOS JÚNIOR, A.; OLIVEIRA, L. O. F. de; CALHEIROS, D. F.; CRISPIM, S. M. A.; SORIANO, B. M. A.; AMANCIO, C. O. da G.; NUNES, A. P.; PELLEGRIN, L. A. A fuzzy logic-based tool to assess beef cattle ranching sustainability in complex environmental systems. *Journal of Environmental Management*, v. 198, part 2, p. 95-106, Aug. 2017. DOI: [10.1016/j.jenvman.2017.04.076](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.076).
- SANTOS, S. A.; LIMA, H. P.; BALDIVIESO, H. P.; OLIVEIRA, L. O. F. de; TOMÁS, W. M. GIS-fuzzy logic approach for building indices: regional feasibility and natural potential of ranching in tropical wetland. *Journal of Agriculture Informatics*, v. 5, n. 2, p. 26-33, 2014b. DOI: [10.17700/jai.2014.5.2.140](https://doi.org/10.17700/jai.2014.5.2.140).
- SANTOS, S. A.; OLIVEIRA, L. O. F. de; LIMA, H. P. de; ABREU, U. G. P. de; OLIVEIRA, M. D. de; ARAÚJO, M. T. B. **D. Protocolo**: Índice de Manejo e Bem-estar do Rebanho (IMBA) para a Fazenda Pantaneira Sustentável (FPS). Corumbá: Embrapa Pantanal, 2015. 20 p. (Embrapa Pantanal. Documentos, 135). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1036693/1/DOC135.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2021.
- SANTOS, T. T.; BARBEDO, J. G. A.; TERNES, S.; CAMARGO NETO, J.; KOENIGKAN, L. V.; SOUZA, K. X. S. de. Visão computacional aplicada na agricultura. In: MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A.; OLIVEIRA, S. R. de M.; MEIRA, C. A. A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; BOLFE, E. L. (ed.). **Agricultura digital**: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas. Brasília, DF: Embrapa, 2020. p. 146-164. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1126261/1/LV-Agricultura-digital-2020-cap6.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2020.
- SANTOS, W. G. dos; MARTINS, J. I. F. O zoneamento agrícola de risco climático e sua contribuição à agricultura brasileira. *Revista de Política Agrícola*, v. 25, n. 3, p. 73-94, jul./ago./set. 2016. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/152623/1/O-zoneamento-agricola-de-risco-climatico.pdf>. Acesso em: 10 out. 2020.
- SOARES, M. T. S.; OLIVEIRA, M. D. de; CALHEIROS, D. F.; SANTOS, S. A.; LIMA, H. P. de. **Protocolo**: Índice de Conservação de Corpos de Água Naturais (ICA) para a Fazenda Pantaneira Sustentável (FPS). Corumbá: Embrapa Pantanal, 2014. 22 p. (Embrapa Pantanal. Documentos, 128). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1009965/1/DOC128.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2020.
- SOUZA, K. X. S.; TERNES, S.; OLIVEIRA, S. R. de M.; MOURA, M. F.; BARIONI, L. G.; HIGA, R. H.; FASIABEN, M. do C. R. A perspective study on the application of Data Science in agriculture. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 11., 2017, Campinas. **Ciência de dados na era da agricultura digital**: anais. Campinas: Editora da Unicamp: Embrapa Informática Agropecuária, 2017. p. 713-722. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1083412/1/Prospectivesbiagro2017.pdf>. Acesso em: 8 out. 2020.
- SPERANZA, E. A.; ESQUERDO, J. C. D. M.; SILVA, J. dos S. V.; ANTUNES, J. F. G.; LOURENÇO, F. V.; CEZAR, V. M. SISLA - Interactive system for environmental licensing support. *Geografia*, v. 36, p. 57-72, jun. 2011. Número especial. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/895460/1/artigo4.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2020.
- SPERANZA, E. A.; GREGO, C. R.; JORGE, L. A. C.; RODRIGUES, C. A. G.; LUCHIARI JUNIOR, A.; RONQUIM, C.

- C.; SANCHES, G. M. Delineamento de zonas de manejo em cana-de-açúcar a partir de atributos do solo e da cultura e imagens georreferenciadas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 4., 2019, São Carlos, SP. **Ciência, inovação e mercado: anais**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2019a. p. 175-179. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1118073/1/DelineamentozonasSiagro.pdf>. Acesso em: 8 out. 2020.
- SPERANZA, E. A.; GREGO, C. R.; RODRIGUES, G. C.; LUCHIARI JUNIOR, A. Influência das diferentes faces de exposição ao sol nos índices vegetativos e relativo de clorofila em cafés especiais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 12., 2019, Indaiatuba. **Anais...** Ponta Grossa: SBIAGRO, 2019b. p. 361-370. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1125723/1/PC-Influencia-cafes-especiais-SBIAGRO-2019.pdf>. Acesso em: 8 out. 2020.
- SPRINGER. **Precision Ag definition**. [2019]. Disponível em: <https://www.springer.com/journal/11119/updates/17240272>. Acesso em: 1 jun. 2020.
- STARTUPBASE. **Encontre todas as startups do Brasil**. Disponível em: <https://startupbase.com.br/home>. Acesso em: 1 jun. 2020.
- TERNES, S.; MOURA, M. F.; SOUZA, K. X. S. de; VAZ, G. J.; OLIVEIRA, S. R. de M.; HIGA, R. H.; LIMA, H. P. de; TAKEMURA, C. M.; COELHO, E. A.; BARBOSA, F. F. L.; VISOLI, M. C.; MENEZES, G. R. de O.; SILVA, L. O. C. da; SANTOS, S. A.; MASSRUHÁ, S. M. F. S.; ABREU, U. G. P. de; SORIANO, B. M. A.; SALIS, S. M.; OLIVEIRA, M. D. de; TOMAS, W. M. Computação científica na agricultura. In: MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A.; OLIVEIRA, S. R. de M.; MEIRA, C. A. A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; BOLFE, E. L. (ed.). **Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. p. 120-144. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1126229/1/LV-Agricultura-digital-2020-cap5.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2020.
- TRASPADINI, E. I. F.; PRADO, R. M.; VAZ, G. J.; SILVA, F. C. da; MANCINI, A. L.; SILVA, G. P. da; SANTOS, E. H. dos; WADT, P. G. S. **Guia prático para aplicação do método da diagnose da composição nutricional (CND): exemplo de uso na cultura da cana-de-açúcar**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2018. 29 p. (Embrapa Informática Agropecuária. Documentos, 160). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1103108/1/guiapraticodocumentos160.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2020.
- VAZ, G. J.; SILVA NETO, L. de F. da; LIMA, R. N.; MARQUES, F. A.; SANTOS, J. C. P. dos; OLIVEIRA, S. R. de M. Curadoria de dados de solos brasileiros por meio de um sistema especialista de classificação de solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 37., 2019, Cuiabá. **Intensificação sustentável em sistemas de produção: resumos**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019a. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1125625/1/PC-Curadoria-dados-CBCS-2019.pdf>. Acesso em: 4 out. 2020.
- VAZ, G. J.; SILVA NETO, L. de F. da; LIMA, R. N.; OLIVEIRA, S. R. de M. Uma API para a classificação de solos do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 12., 2019, Indaiatuba. **Anais...** Ponta Grossa: SBIAGRO, 2019b. p. 63-72. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1125720/1/PC-API-solos-SBIAGRO-2019.pdf>. Acesso em: 3 nov. 2020.
- VAZ, G. J.; SILVA NETO, L. de F. da; OLIVEIRA, S. R. de M.; BOTELHO, F. P.; ARAUJO FILHO, J. C. de. Development of an expert system for classification of Brazilian soil profiles. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 21., 2018, Rio de Janeiro. **Soil science: beyond food and fuel: abstracts**. Viçosa, MG: SBCS, 2018. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1100967/1/Development-VAZ-WCSS-2018.pdf>. Acesso em: 4 out. 2020.
- WESTOBY, M. J.; BRASINGTON, J.; GLASSERA, N. F.; HAMBREY, M. J.; REYNOLDS, J. M. 'Structure-from-Motion' photogrammetry: a low-cost, effective tool for geoscience applications. **Geomorphology**, v. 179, p. 300-314, Dec. 2012. DOI: [10.1016/j.geomorph.2012.08.021](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021).
- WILLIAMS, H.; TING, C.; NEJATI, M.; JONES, M. H.; PENHALL, N.; LIM, J.; SEABRIGHT, M.; BELL, J.; AHN, H. S.; SCARFE, A.; DUKE, M.; MACDONALD, B. Improvements to and large-scale evaluation of a robotic kiwifruit harvester. **Journal of Field Robotics**, v. 37, n. 2, p. 187-201, Mar. 2020. DOI: [10.1002/rob.21890](https://doi.org/10.1002/rob.21890).
- WORLD ECONOMIC FORUM. **Digital transformation initiative in collaboration with Accenture: unlocking \$100 trillion for business and society from digital transformation: executive summary**. 2017. 70 p. Disponível em: https://www.accenture.com/t20170116T084450__w_/us-en/_acnmedia/Accenture/Conversion-Assets/WEF/PDF/Accenture-DTI-executive-summary.pdf. Acesso em: 1 maio 2020.
- XIONG, Y.; GE, Y.; GRIMSTAD, L.; FROM, P. J. An autonomous strawberry-harvesting robot: design, development, integration, and field evaluation. **Journal of Field Robotics**, v. 37, n. 2, p. 202-224, Mar. 2020. DOI: [10.1002/rob.21889](https://doi.org/10.1002/rob.21889).
- YASSITEPE, J. E. de C. T.; DANTE, R. A.; GERHARDT, I. R.; FERNANDES, F. R.; SOUZA, R. S. C. de; ARMANHI, J. S. L.; SILVA, V. C. H. da; RIBEIRO, A. P.; SILVA, M. J. da; ARRUDA, P. Genômica aplicada às mudanças climáticas: biotecnologia para a agricultura digital. In: MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A.; OLIVEIRA, S. R. de M.;

MEIRA, C. A. A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; BOLFE, E. L. (ed.). **Agricultura digital**: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas. Brasília, DF: Embrapa, 2020. p. 258-276. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1126269/1/LV-Agricultura-digital-2020-cap11.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2020.

ZERLOTINI NETO, A.; NHANI JUNIOR, A.; VIEIRA, F. D.; CINTRA, L. C.; MUDADU, M. de A.; MUDADU, M. de

A.; FALCAO, P. R. K.; GIACHETTO, P. F. Aplicações da bioinformática na agricultura. In: MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A.; OLIVEIRA, S. R. de M.; MEIRA, C. A. A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; BOLFE, E. L. (ed.). **Agricultura digital**: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas. Brasília, DF: Embrapa, 2020. p. 234-257. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1126268/1/LV-Agricultura-digital-2020-cap10.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2020.