

Darlei Anziliero

Coordenador de Serviços, Administrador,
Mestrando do PPGAGR - UFSM
Palmeira das Missões/RS

RESUMO

O monitoramento de uma área agrícola é parte indispensável de qualquer cultivo, independentemente do tamanho da área. Essa prática é importante para garantir a produtividade e evitar problemas indesejados. Nesse aspecto, as inovações e tecnologias disruptivas podem ajudar os produtores rurais. O objetivo dessa pesquisa foi analisar e identificar as técnicas, aplicações e o nível de automação do VANT na agricultura. O trabalho foi executado através de uma revisão sistemática descritiva qualitativa em artigos científicos publicados entre os anos de 2015 e 2020 nas principais bases web. A tecnologia está sendo empregada em diversas culturas com diferentes formas de coleta e análise de dados com resultados promissores. Foram encontrados 23 artigos com resultados positivos para a tecnologia e três níveis de automação, no primeiro nível o operador controla o VANT, no segundo, o VANT possui georreferenciamento por *Global Positioning System* (GPS) e correção de sinal por *Real Time Kinematic* (RTK), trabalha com um mapa de linhas de forma autônoma com alta precisão, enviando dados por telemetria, e no terceiro, com emprego de algoritmos de *machine learning*, possui capacidade de identificar objetos e se adaptar ao ambiente. Dessa forma, os níveis dois e três são processos para sensoriamento remoto qualitativos.

Palavras chave: precisão; automação; sensoriamento remoto; *machine learning*.

INTRODUÇÃO

Novas tecnologias estão incrementando o monitoramento das áreas agrícolas, com a necessidade de aumentar a eficiência dos sistemas produtivos, através de uma análise detalhada de cada metro quadrado da lavoura. Essa precisão de monitoramento deve ser mantida independentemente da escala da produção (KARTAL et al., 2020). Nesse contexto, o veículo aéreo não tripulado (VANT) pode contribuir com aumento da precisão no sistema produtivo na identificação de alvos específicos (HERWITZ et al., 2004).

Para auxiliar nessa precisão, é necessário emprego de tecnologia na cadeia de valor primária para transformar a maneira como as atividades são realizadas, trazendo inovação aos processos produtivos através de *softwares* e automação (BHARATI & CHAUDHURY, 2006), para auxílio no uso dos insumos de forma eficiente e direcionada (SCHUT et al., 2018).

A inovação pode trazer mais competitividade para a cadeia de valor com a digitalização e automação dos processos dentro da porteira, aumentando a sustentabilidade econômica da produção, tornando as culturas mais produtivas e diminuindo os custos (BONGOMIN *et al.*, 2020).

Segundo Schumpeter (1982), o empresário que aplica uma inovação tem vantagem competitiva no mercado, podendo obter mais lucros em comparação aos outros empresários, através de um novo investimento em um dispositivo que transforma a maneira de executar um determinado trabalho.

O veículo aéreo não tripulado, daqui para frente indicado apenas como VANT, é cada vez mais frequente na vida das pessoas e cada vez mais é discutido em estudo de pesquisadores e cientistas para encontrar novas formas de uso e técnicas de aplicação. O objetivo dessa pesquisa foi fazer uma revisão sistemática descritiva qualitativa para caracterizar e identificar as alternativas no uso de VANT na agricultura, destacando as técnicas e as culturas que são utilizados, especificando os diferentes níveis de automação do VANT e o resultado na usabilidade.

O monitoramento com precisão das plantas na agricultura é uma necessidade com vista ao gerenciamento preciso das culturas com o objetivo de identificar e antecipar possíveis problemas. Nesse cenário, fica muito difícil o produtor ter esse controle preciso permanentemente na lavoura mesmo em pequenas áreas. A agricultura necessita aumentar a produtividade e diminuir os impactos ambientais (ATZBERGER, 2013).

O uso da automação na agricultura pode ser uma alternativa para otimizar o trabalho principalmente em locais de difícil acesso. Entretanto, a tecnologia ainda apresenta problemas de autonomia, deficiência operacional e problemas de usabilidade (ADAMIDES, 2020).

Algoritmos de *machine learning* para drones autônomos podem incrementar a produção de alimentos. Os equipamentos trabalham enviando grande quantidade de dados por telemetria para a nuvem, dessa forma auxiliando na tomada de decisão do agricultor, com o objetivo de incrementar a produtividade, através do monitoramento das plantas com precisão de centímetros quadrado e aplicação de fertilizantes e produtos químicos de forma localizada (ASSENG; ASCHE, 2019).

O objetivo desse trabalho é analisar, interpretar e destacar aplicações inovadoras e disruptivas para VANT na agricultura, investigando as práticas agrícolas e as culturas que a tecnologia está sendo empregada, através de uma revisão bibliográfica, para identificar os benefícios do sensoriamento remoto no monitoramento e gerenciamento da variabilidade espacial das lavouras.

Pesquisas na área de automação das práticas agrícolas são de extrema importância para o entendimento, contribuição e desenvolvimento da tecnologia, e para a melhoria dos processos e técnicas que evitam problemas que podem causar perdas de produtividade das culturas e prejuízos para os agricultores. É importante destacar que não foram encontradas pesquisas abordando todas as aplicações de VANT no mesmo estudo.

O artigo está estruturado em sete seções, além desta introdução. Na segunda seção, são apresentados o material e métodos, na terceira os resultados, na quarta seção as discussões, na quinta seção, são apresentadas as conclusões, na sexta seção, os agradecimentos, e por fim, na sétima seção, as referências bibliográficas.

MATERIAL E MÉTODOS

Revisão sistemática

Revisões sistemáticas estão substituindo a pesquisa primária com a necessidade de juntar evidências de diversos estudos com o objetivo de auxiliar na tomada de decisão de um determinado procedimento. A análise de todos os artigos encontrados na pesquisa é fundamental no momento da avaliação, classificação e resumo dos estudos científicos (EVANS; PEARSON, 2001). Além disso, revisões sistemáticas tem por objetivo encontrar o maior número de publicações relevantes para a pesquisa de acordo com os critérios do autor, baseado na identificação do maior número de literaturas relevantes, relacionadas com a questão de pesquisa (Kitchenham, 2004).

A pesquisa foi realizada através de uma revisão bibliográfica sistemática descritiva qualitativa em artigos científicos publicados de janeiro de 2015 a outubro de 2020 para que seja possível identificar as últimas inovações e aplicações para o uso de VANT na agricultura. A escolha de um período mais recente foi determinada pelo motivo da tecnologia ser nova e estar em constante evolução. As palavras chave utilizadas para a pesquisa foram “VANT agriculture”, “drones agriculture” e “UAV agriculture”.

Critérios da pesquisa

Os critérios de inclusão e exclusão para a escolha dos artigos mais relevantes para a pesquisa foi seguido com base em Oliveira *et al.* (2021), com escolha de periódicos revisados por pares selecionados com base no tipo de aplicação da tecnologia na agricultura, caracterizando as diferentes aplicações que pode ser usado o VANT.

Através do banco de dados da CAPES, foram encontrados 3 artigos científicos relacionados ao uso de VANT na agricultura, 22 artigos científicos sobre o uso de drone na agricultura e 14 artigos científicos sobre o uso de *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) na agricultura.

A mesma pesquisa foi realizada na base Scopus e encontrados 9 artigos. Na Revista *Nature* foi encontrado um artigo e na Revista *Science* foi encontrado um artigo, ambos relevantes para a pesquisa. Por fim, foi feito a

pesquisa no Repositório Científico de Acesso Aberto de Portugal (ACAAP) e encontrado dois artigos relevantes que acrescentam novas culturas para o uso de VANT.

Foi feito a triagem de maneira sistemática para separar e identificar os artigos mais relevantes para a pesquisa, onde todos os estudos que apresentaram no mínimo uma aplicação da tecnologia na prática com resultados claros e uma cultura definida foram selecionados. Outro critério utilizado para seleção dos artigos foi a identificação de um posicionamento qualitativo de usabilidade e automação do VANT na agricultura (VELTEN *et al.*, 2015). Além disso, foi realizado a pesquisa através do software StArt, que classifica os estudos com base na relação com o tema, objetivo e critérios da pesquisa (Octaviano *et al.*, 2015). Foram encontrados 23 artigos que apresentaram técnicas de aplicação de VANT na agricultura.

A exclusão dos artigos considerados não relevantes foi baseada no objetivo da pesquisa, pois não acrescentam informações adicionais de técnicas de utilização de VANT na agricultura. As literaturas relevantes foram baixadas em arquivo PDF e salvas no computador.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A diferença espacial e o índice vegetativo no final de ciclo das culturas verificadas nas imagens de um VANT podem ser avaliadas com precisão satisfatória para determinação da produtividade, estresse hídrico e época de colheita de uma cultura (SCHUT *et al.*, 2018).

Observa-se que o principal problema para o incremento dessa tecnologia é a falta de automação. O incremento da tecnologia de *machine learning* pode deixar os VANTs muito mais autônomos, reconhecendo padrões de imagens e se adaptando rapidamente a um novo ambiente, dispensando a necessidade de um controlador (CHOI; CHA, 2019).

Com o objetivo de aumentar a automação, foi criado um mapa georreferenciado com início e fim para que o VANT faça sua trajetória de forma autônoma, sem a necessidade de operação, percorrendo toda a área que se deseja mapear, fazendo o levantamento fotográfico, que posteriormente se transforma em um mosaico com todos os dados para o gerenciamento e tomada de decisão (SHAH *et al.*, 2020) .

A água é um recurso essencial para todas as pessoas, é indispensável na agricultura para produção de alimentos, mas a sua escassez é um grande problema, pois uma grande parcela da população enfrenta dificuldade de acesso à água com qualidade e quantidade (FAO 2016).

O VANT é um equipamento acessíveis e de baixo custo operacional, podendo ser utilizado para áreas irrigadas na coleta de imagens e dados, que são utilizadas para determinar a necessidade de água nas plantas, gerando a diminuição do fornecimento de água na irrigação, resultado em economia no consumo de água e no custo de produção (BARTHOLOMEW, 2019).

O sensoriamento remoto e imagens de plantas de trigo coletados por VANT teve uma eficiência de 94% para identificar eventos e alterações

visuais nas plantas. O equipamento é considerado de baixo custo e de fácil navegação evitando o risco de um voo tripulado em áreas rurais, com imagens multiespectrais de alta resolução (BAGHERI, 2016).

Em uma pesquisa utilizando uma câmera montada em um VANT foi possível medir a matéria orgânica do solo com precisão próxima de uma análise feita em laboratório, demonstrando potencial claro para uso nas áreas agrícolas (ALDANA-JAGUE et al., 2016).

A aplicação de VANT no monitoramento e mapeamento agrícola pode evitar desastres naturais como incêndios em lavouras e florestas, utilizando vários tipos de sensores térmicos e câmeras multiespectrais e de infravermelho (PANDAY, 2020).

As pastagens são culturas importantes na alimentação de animais para a produção de proteína e leite. O uso de VANT em pastagem para determinar a altura das plantas e quantidade de biomassa apresenta resultado satisfatório em testes práticos de campo, mas a topografia irregular pode ocasionar erros de medição, por isso, o nível de automação e tecnologia embarcada nos equipamentos determina a eficiência do trabalho (MIURA et al., 2020).

As imagens de VANT em vinhedos são usadas para determinar a cobertura verde e o vigor nas plantas. Existem dificuldades no processamento dos dados coletados, pois as diferentes variedades de uvas possuem colorações diferentes e o posicionamento do sol no momento da coleta das imagens pode alterar os resultados, mesmo assim, quando as imagens apresentam alguma inconsistência, o produtor pode ir a campo para uma análise visual para entender se realmente existe um problema com a planta (BURGOS et al., 2015).

A cultura do arroz tem papel fundamental na segurança alimentar no mundo. O sensoriamento remoto na aplicação de nitrogênio na lavoura de arroz através de imagem hiperespectral gerada por VANT foi analisada utilizando equipamentos de baixo custo com objetivo de identificar parâmetros de crescimento em diferentes estágios da cultura após aplicação de fertilizante nitrogenado. A técnica demonstra eficácia no monitoramento da lavoura em tempo real (WILLKOMM et al., 2016).

Animais silvestres estão presentes em pastagens e podem fazer tocas que representam um perigo para máquinas e animais da propriedade. A utilização de VANT teve eficácia na detecção de tocas e presença de animais silvestres nas pastagens, através de imagens aéreas principalmente em áreas de difícil acesso para veículos (OLD et al., 2019).

Quadro 1- Aplicação de VANT nas culturas agrícolas.

Aplicação de VANT	Autor	Cultura
Pulverização, Mapeamento de pragas e doenças	KARTAL et al., 2020	Feijão
Detecção de níveis de nitrogênio nas plantas	ARROYO et al., 2017	Milho
Pulverização	ADAMIDES, 2020	Uva
Detecção de resposta na aplicação de fertilizante, produtividade e estresse hídrico	SCHUT et al., 2018	Algodão, milho, sorgo, painço e amendoim
Automação, aprendizado de máquina (<i>machine learning</i>)	CHOI; CHA, 2019	Girassol, Milho
Controle de irrigação	BARTHOLOMEW, 2019	N/A
Sensoriamento remoto e imagens de plantas	BAGHERI, 2016	Trigo
Medição de matéria orgânica no solo	ALDANA-JAGUE, 2016	N/A
Biomassa, estimativa de produção e mapeamento de florestas	PANDAY, 2020	Floresta
Determinar altura das plantas e biomassa	MIURA et al., 2020	Pastagem
Cobertura verde, vigor e detecção de doenças	BURGOS et al., 2015	Viticultura
Resposta de crescimento na aplicação nitrogenada	WILLKOMM et al., 2016	Arroz
Monitoramento de animais silvestres	OLD et al., 2019	Pastagem
Monitoramento ambiental	BUTERS et al., 2019)	Floresta
Altura de planta por fenotipagem	WANG et al., 2019	Milho
Identificação de doenças fúngicas, bacterianas e viróticas	MORIYA, 2015	Cana-de-açúcar
Estimativa de população de plantas	ZHANG et al., 2018	Milho
Mapeamento e detecção de ervas daninhas	HUANG et al., 2018	Arroz

Ervas daninhas, aspecto nutricional e produtividade	HERWITZ et al., 2004	Fruticultura
Pulverização	MARTINEZ-GUANTER et al., 2019	Oliveira, Citros
Pulverização	WANG et al., 2020	Pastagem
Pulverização	(CAMPOS <i>et al.</i> , 2019)	Vinhedo, pomar, cítricos, oliveiras
Monitoramento de desenvolvimento	(DU; NOGUCHI, 2017)	Trigo

Fonte: autoria própria.

No quadro 1, pode-se perceber a vasta utilização da tecnologia de VANT na agricultura, com diferentes aplicações e técnicas em múltiplas culturas. A inovação é identificada na tecnologia de VANT para aplicação na agricultura e deve-se destacar as complicações técnicas no seu uso. Por outro lado, é uma tecnologia de baixo custo operacional e as pesquisas científicas mostram que a sua necessidade é cada vez mais comprovada, com aplicação para todas as culturas.

Observa-se três níveis de automação para os VANTs, o primeiro nível o operador controla o veículo, no segundo nível, o VANT recebe um caminho para seguir através de um mapa de linhas e no terceiro nível o VANT possui tecnologia *machine learning* e é capaz de identificar e contornar um objeto e se adaptar ao ambiente.

A inovação é fundamental para que seja possível alcançar a melhoria contínua de uma prática, com a possibilidade de evitar problemas indesejados. As inovações geralmente são empregadas de forma lenta e gradativa e observa-se a necessidade de difundir as tecnologias para que sejam empregadas mais rapidamente, assim, evitando impactos negativos (ROGERS, 1995).

São considerados veículo aéreo não tripulado (VANTs) ou *unmanned aerial vehicles* (UAVs) os equipamentos de voo sem piloto a bordo que podem ser no formato de helicópteros, aviões ou drones, e que recebem o incremento de uma ou mais tecnologias de monitoramento através de câmeras, sensores e navegação por GPS, para cumprir uma tarefa ou coleta de vários dados da lavoura (ZENG *et al.*, 2020).

O uso de VANT faz parte da agricultura 4.0 e é considerado uma tecnologia disruptiva, mas ainda está em fase inicial com poucas aplicações nas áreas agrícolas. Observa-se a necessidade de manter pesquisas constantes nesse setor para aumentar a aplicação e difundir a tecnologia de sensoriamento remoto para mais áreas agrícolas (BONGOMIN *et al.*, 2020).

A intensificação das práticas agrícolas é o caminho para melhorar o desempenho produtivo das culturas através de técnicas de manejo inovadoras com o objetivo de reduzir os erros e melhorar a sustentabilidade.

Através da verificação de imagens feitas por VANT é possível determinar o índice de vegetação, variabilidade espacial e até mesmo fazer uma estimativa de rendimento de uma cultura (SCHUT et al., 2018).

O VANT está cada vez mais presente na vida das pessoas e nas aéreas agrícolas esse cenário não é diferente. Os veículos estão cada vez mais autônomos, com o incremento de inteligência artificial ou aprendizado de máquina (*machine learning*), o VANT reconhece padrões de imagens pré-programadas para evitar colisões, executando voos sem a necessidade de uma pessoa estar no controle, trabalhando de forma dinâmica e sem erros de operação (CHOI; CHA, 2019).

Sensores de baixa latência, com tempo de reação de 3,5 milissegundos conjugados com algoritmos de detecção de obstáculos foram testados e apresentaram resultados positivos. Essa tecnologia é um desafio para a robótica e pode tornar o VANT totalmente autônomo. O VANT Skydio, um dos mais avançados do mundo, não possui essa tecnologia de percepção rápida de um objeto em movimento (FALANGA et al., 2020).

O VANT vem sendo utilizado para diversas práticas agrícolas. Utilizando câmera multiespectral de alta resolução com capacidade de identificar níveis de nitrogênio nas plantas com precisão de até 80% com baixo custo de operação (ARROYO et al., 2017), ou identificar alguma anomalia que esteja ocorrendo visualmente nas plantas que pode causar prejuízo econômico (BAGHERI, 2016).

O monitoramento dos espaços nas propriedades destinados para reserva legal e preservação do meio ambiente ainda é muito difícil, é realizado de maneira rústica e ineficiente. O emprego de sensores em VANT torna o monitoramento preciso e eficiente, com a possibilidade de adquirir diversos indicadores relacionados a saúde do ecossistema. A tecnologia é aplicada para coletar apenas dados de objetos ou questões pertinentes para o monitoramento (BUTERS et al., 2019).

A verificação de altura de plantas de milho por fenotipagem feita por imagem de VANT em quatro estágios da cultura teve resultado positivo, onde o excelente nível de automação e precisão do equipamento trouxe um resultado confiável em relação ao processo manual. O processo manual é considerado uma técnica muito trabalhosa. O estudo mostra que a técnica por VANT tem grande potencial de uso (WANG et al., 2019).

Foi identificado doenças em cana-de-açúcar utilizando imagens hiperspectrais coletadas por VANT. Nas imagens foi possível identificar comprimento de ondas sensíveis para destacar as folhas com presença de patógenos. No estudo foi possível identificar diferentes curvas espectrais para diferenciar doenças bacterianas, viróticas e fúngicas (MORIYA, 2015).

O uso de VANT na pulverização é considerado uma alternativa para melhorar o trabalho em locais de difícil acesso e a diminuição do risco de intoxicação para o operador é uma grande vantagem, mas a tecnologia ainda apresenta problemas de autonomia, deficiência na eficácia na operação e problemas de usabilidade (KARTAL et al., 2020).

Usando VANT na pulverização de defensivos agrícolas, pode-se mitigar os riscos para a saúde ambiental e humana nessa prática. O uso de VANT pode acelerar o incremento de tecnologias no campo e facilitar o trabalho com o emprego da automação (CHEN *et al.*, 2020)

Com uso de VANT foi possível estimar a população de plantas de uma lavoura de milho através da medição do espaçamento entre plantas com erro de aproximadamente 10%. O método se mostra eficaz pois desconsidera as plantas daninhas presentes na área analisada (ZHANG *et al.*, 2018).

A NASA vem desenvolvendo trabalhos para mapeamento agrícola com VANT, em testes durante voo de 12 horas, as câmeras obtiveram ótimo desempenho, transmitindo os dados por telemetria. O objetivo da pesquisa foi monitorar plantações de café para verificar falhas na fertirrigação e localizar plantas daninhas. A pesquisa demonstra que um excelente nível de automação pode proporcionar o monitoramento agrícola para segurança alimentar de uma base em qualquer lugar do mundo (HERWITZ *et al.*, 2004).

O manejo de ervas daninhas de uma cultura é essencial para garantir bons níveis de produtividade. Em uma lavoura de arroz no sul da China, foi possível mapear as ervas daninhas com precisão e eficácia utilizando imagens de um VANT com mecanismos de georreferenciamento por *Global Positioning System* (GPS) (HUANG *et al.*, 2018).

No teste de um VANT pulverizador autônomo com georreferenciamento por *Real Time Kinematic* (RTK) a qualidade da aplicação foi verificada em comparação com um avião tripulado, apresentando como resultado menor taxa de deriva, menor consumo de água e aplicação localizada com economia de defensivos agrícolas (WANG *et al.*, 2020).

Em comparação com um pulverizador de arrasto, um VANT pulverizador teve a mesma eficiência de tamanho de gota e cobertura foliar na pulverização de oliveira e citros. Destaca-se a menor deriva e ausência de compactação no solo do VANT. A combinação dos dois sistemas apresenta um ganho considerável na distribuição dos defensivos agrícolas nas frutíferas (MARTINEZ-GUANTER *et al.*, 2019).

O processo de pulverização para culturas como vinhedo, pomar, cítricos e oliveiras representa um desafio do ponto de vista econômicos, técnicos e ambientais. Na pulverização com VANT com posicionamento preciso georreferenciado, trabalhando com mapa de aplicação, o equipamento apresenta uma redução de 45% de defensivos aplicados, contribuindo para redução na aplicação de agrotóxicos na lavoura (CAMPOS *et al.*, 2019).

O monitoramento em tempo real do desenvolvimento do trigo foi efetuado com VANT com precisão, sendo possível identificar a produtividade da cultura através do imageamento remoto e cálculos estatísticos de correlação e regressão (DU; NOGUCHI, 2017).

CONCLUSÕES

A tecnologia de uso de VANT na agricultura pode diminuir consideravelmente o uso de fertilizantes e defensivos agrícolas, através do monitoramento e gerenciamento preciso e preditivo das culturas para a tomada de decisão através de dados de sensoriamento remoto. Essa tecnologia inovadora e disruptiva torna-se uma alternativa para a melhoria da gestão no monitoramento das áreas agrícolas, mesmo em pequenas áreas de cultivo, com a possibilidade de se fazer um comparativo entre os campos.

Como resultados, foram encontrados três níveis de automação em 23 artigos científicos, no primeiro, o operador controla o VANT, no segundo, o VANT possui georreferenciamento por *Global Positioning System (GPS)*, trabalha com um mapa de linhas fazendo o sensoriamento remoto de forma autônoma enviando os dados por telemetria, e no terceiro, com emprego de algoritmos de *machine learning*, tem capacidade de identificar e desviar objetos e se adaptar no ambiente. Os níveis dois e três são processos para sensoriamento remoto qualitativos.

É pertinente para uma próxima pesquisa aprofundar o estudo referente ao incremento da tecnologia de *machine learning* em VANT para automatizar as operações agrícolas através da programação.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

REFERÊNCIAS

ADAMIDES, G. Heuristic Evaluation of the User Interface for a Semi-Autonomous Agricultural Robot Sprayer. **AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics**, Vol. 12, N. 3, p. 3-12, 2020. ISSN 1804-1930. DOI 10.7160/aol.2020.120301.

ALDANA-JAGUE et al. UAS-based soil carbon mapping using VIS-NIR (480–1000 nm) multi-spectral imaging: potential and limitations. **Geoderma**, [S.L.], v. 275, p. 55-66, ago. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.04.012>.

ARROYO, Jaen Alberto et al. Tecnologia UAV e técnicas de aprendizado de máquina aplicadas à melhoria da produtividade na agricultura de precisão. Em: **2017 IEEE Mexican Humanitarian Technology Conference (MHTC)**. IEEE, 2017. p. 137-143.

ASSENG, Senthod; ASCHE, Frank. Future farms without farmers. **Science Robotics**, [S.L.], v. 4, n. 27, p. 1-3, 13 fev. 2019. American Association for the

Advancement of Science (AAAS).
<http://dx.doi.org/10.1126/scirobotics.aaw1875>.

ATZBERGER, Clement. Advances in Remote Sensing of Agriculture: context description, existing operational monitoring systems and major information needs. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 5, n. 2, p. 949-981, 22 fev. 2013. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs5020949>.

BAGHERI, Nikrooz. Development of a high-resolution aerial remote-sensing system for precision agriculture. **International Journal Of Remote Sensing**, [S.L.], v. 38, n. 8-10, p. 2053-2065, 26 set. 2016. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2016.1225182>.

BHARATI, P., CHAUDHURY, A., Current Status of Technology Adoption: Micro, Small and Medium Manufacturing Firms in Boston, **Communications of the ACM**, Vol. 49, No. 10, pp. 88-93, 2006.

BONGOMIN, Ocident et al. Industry 4.0 Disruption and Its Neologisms in Major Industrial Sectors: a state of the art. **Journal Of Engineering**, [S.L.], v. 2020, p. 1-45, 10 out. 2020. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2020/8090521>.

BURGOS, S. et al. USE OF VERY HIGH-RESOLUTION AIRBORNE IMAGES TO ANALYSE 3D CANOPY ARCHITECTURE OF A VINEYARD. **Isprs - International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences**, [S.L.], v. -3/3, p. 399-403, 19 ago. 2015. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/isprsarchives-xxl-3-w3-399-2015>.

BUTERS, Todd M. et al. Methodological Ambiguity and Inconsistency Constrain Unmanned Aerial Vehicles as A Silver Bullet for Monitoring Ecological Restoration. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 11, n. 10, p. 11-1180, 17 maio 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs11101180>.

CAMPOS, Javier *et al.* Development of canopy vigour maps using UAV for site-specific management during vineyard spraying process. **Precision Agriculture**, [S.L.], v. 20, n. 6, p. 1136-1156, 5 mar. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-019-09643-z>.

CHEN, Qianmiao *et al.* Land scale, cooperative membership and benefits information: unmanned aerial vehicle adoption in china. **Sustainable Futures**, [S.L.], v. 2, p. 1-9, 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sftr.2020.100025>.

CHOI, Su Yeon; CHA, Dowan. Unmanned aerial vehicles using machine learning for autonomous flight; state-of-the-art. **Advanced Robotics**, [S.L.], v.

33, n. 6, p. 265-277, 5 mar. 2019. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01691864.2019.1586760>.

DU, Mengmeng; NOGUCHI, Noboru. Monitoring of Wheat Growth Status and Mapping of Wheat Yield's within-Field Spatial Variations Using Color Images Acquired from UAV-camera System. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 9, n. 3, p. 289, 21 mar. 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs9030289>.

EVANS, David; PEARSON, Alan. Systematic reviews: gatekeepers of nursing knowledge. **Journal Of Clinical Nursing**, [S.L.], v. 10, n. 5, p. 593-599, 15 set. 2001. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2702.2001.00517.x>.

FALANGA, Davide *et al.* Dynamic obstacle avoidance for quadrotors with event cameras. **Science Robotics**, [S.L.], v. 5, n. 40, p. 1-14, 18 mar. 2020. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/scirobotics.aaz9712>.

FAO. Coping with water scarcity in agriculture: A global framework for action in a changing climate. **Food and Agricultural Organization of the United Nations**, 2016. Retrieved from www.fao.org/3/a-i6459e.pdf.

HERWITZ, S.R *et al.* Imaging from an unmanned aerial vehicle: agricultural surveillance and decision support. **Computers And Electronics In Agriculture**, [S.L.], v. 44, n. 1, p. 49-61, jul. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2004.02.006>.

HERNANDES, Elis *et al.* Usando GQM e TAM para avaliar StArt - uma ferramenta que suporta Revisão Sistemática. **CLEI Electronic Journal**, v. 15, n. 1, pág. 3-3, 2012.

HUANG, Huasheng *et al.* A fully convolutional network for weed mapping of unmanned aerial vehicle (UAV) imagery. **Plos One**, Guangzhou, v. 4, n. 13, p. 1-19, 26 abr. 2018.

KARTAL, S. *et al.* Segmentation of Bean-Plants Using Clustering Algorithms. **AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics**, Vol. 12, No. 3, pp. 36-43, 2020. ISSN 1804-1930. DOI 10.7160/aol.2020.120304.

Kitchenham, B., A, 2004. Procedures for Performing Systematic Reviews. Software Engineering Group. Keele University, Keele, UK. <http://www.inf.ufsc.br/~aldo.vw/kitchenham.pdf> (accessed in april 10, 2021).

MARTINEZ-GUANTER, Jorge *et al.* Spray and economics assessment of a UAV-based ultra-low-volume application in olive and citrus orchards. **Precision Agriculture**, [S.L.], v. 21, n. 1, p. 226-243, 6 maio 2019.

Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-019-09665-7>.

MIURA, N. et al. Estimation of canopy height and biomass of miscanthus sinensis in semi-natural grassland using time-series uav data. **Isprs Annals Of Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences**, [S.L.], v. -3-2020, p. 497-503, 3 ago. 2020. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-annals-v-3-2020-497-2020>.

MORIYA, Érika Akemi Saito. Identificação de bandas espectrais para detecção de cultura de cana-de-açúcar sadia e doente utilizando câmara hiperespectral embarcada em VANT. 2015.

OLD, Julie M. et al. Mapping out bare-nosed wombat (*Vombatus ursinus*) burrows with the use of a drone. **Bmc Ecology**, Penrith, v. 19, n. 1, p. 19-39, 18 set. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s12898-019-0257-5>.

Octaviano, F., Felizardo, R., Maldonado, K., Fabbri, J., 2015. Semi-automatic selection of primary studies in systematic literature reviews: is it reasonable? *Empir. Software Eng.* 20 (6), 1898e1917. <https://doi.org/10.1007/s10664-014-9342-8>.

OLIVEIRA, Mariana Martins de et al. Food loss and waste in the context of the circular economy: a systematic review. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 294, p. 126284, abr. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126284>.

PANDAY, Uma Shankar et al. A Review on Drone-Based Data Solutions for Cereal Crops. **Drones**, [S.L.], v. 4, n. 3, p. 4-41, 12 ago. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/drones4030041>.

ROGERS, Everett M.. Diffusion of Innovations: modifications of a model for telecommunications. **Die Diffusion von Innovationen In Der Telekommunikation**, [S.L.], p. 25-38, 1995. Springer Berlin Heidelberg. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-79868-9_2.

SCHUT, Antonius G.T. et al. Assessing yield and fertilizer response in heterogeneous smallholder fields with UAVs and satellites. **Field Crops Research**, [S.L.], v. 221, p. 98-107, maio 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2018.02.018>.

SHAH, Kunal et al. Levantamentos aéreos multidrone de colônias de pinguins na Antártica. **Science Robotics** , v. 5, n. 47, 2020.

SCHUMPETER, J. A. A Teoria do Desenvolvimento Econômico: uma investigação sobre lucro, capital, crédito, juro e o ciclo econômico. Rio de Janeiro: Nova Cultural, 1982.

VELTEN, Sarah *et al.* What Is Sustainable Agriculture? A Systematic Review. **Sustainability**, [S.L.], v. 7, n. 6, p. 7833-7865, 18 jun. 2015. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su7067833>.

WANG, Xiaqing *et al.* Dynamic plant height QTL revealed in maize through remote sensing phenotyping using a high-throughput unmanned aerial vehicle (UAV). **Scientific Reports**, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 34-58, 5 mar. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-019-39448-z>.

WANG, Guobin *et al.* Field evaluation of spray drift and environmental impact using an agricultural unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer. **Science Of The Total Environment**, Guangzhou, v. 737, p. 737-139793, out. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139793>.

WILLKOMM, M. *et al.* Non-destructive monitoring of rice by hyperspectral in-field spectrometry and uav-based remote sensing: case study of field-grown rice in north rhine-westphalia, germany. **Isprs - International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences**, [S.L.], v. -1, p. 1071-1077, 6 jun. 2016. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/isprsarchives-xli-b1-1071-2016>.

ZENG, Chen *et al.* A new tilt-arm transitioning unmanned aerial vehicle: introduction and conceptual design. **Aerospace Science and Technology**, [S.L.], v. 99, p. 1-15, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ast.2020.105755>.

ZHANG, Jinshui *et al.* Estimating plant distance in maize using Unmanned Aerial Vehicle (UAV). **Plos One**, [s. l.], p. 1-22, 20 abr. 2018.