

**TIAGO MAKOTO OTANI**

**AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (RPA): ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA EM  
ESTUDO AGRÍCOLAS E ESTIMATIVA DA CONTAGEM DE PLANTAS DE MILHO  
(*Zea mays*) ATRAVÉS DE IMAGENS AÉREAS**

**Botucatu**

**2021**



**TIAGO MAKOTO OTANI**

**AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (RPA): ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA EM ESTUDO AGRÍCOLAS E ESTIMATIVA DA CONTAGEM DE PLANTAS DE MILHO (*Zea mays*) ATRAVÉS DE IMAGENS AÉREAS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Campus de Botucatu, para a obtenção do título de Mestre em Energia na Agricultura

Orientador: Sérgio Campos

**Botucatu**

**2021**

O87a	<p>Otani, Tiago Makoto</p> <p>Aeronave remotamente pilotada (RPA): análise bibliométrica em estudo agrícolas e estimativa da contagem de plantas de milho (<i>Zea mays</i>) através de imagens aéreas / Tiago Makoto Otani. -- Botucatu, 2021</p> <p>63 p.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu</p> <p>Orientador: Sergio Campos</p> <p>1. Aeronave Remotamente Pilotada. 2. Milho. 3. Agricultura de precisão. I. Título.</p>
------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (RPA): ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA EM ESTUDO AGRÍCOLAS E ESTIMATIVA NA CONTAGEM DE PLANTAS DE MILHO (*Zea mays*) ATRAVÉS DE IMAGENS AÉREAS

**AUTOR: TIAGO MAKOTO OTANI**

**ORIENTADOR: SÉRGIO CAMPOS**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. SÉRGIO CAMPOS (Participação Virtual)   
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP

Dr.<sup>a</sup> YARA MANFRIN GARCIA (Participação Virtual)   
Bauru/SP / .

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> FERNANDA LEITE RIBEIRO (Participação Virtual)   
Geociências / Universidade Estadual de Londrina

Botucatu, 02 de setembro de 2021



*Aos meus amados pais e irmã,  
Celso, Norma e Lígia,  
dedico*





## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Dr. Sergio Campos, pela orientação e ensinamentos.

Aos professores do programa da pós-graduação que acompanharam durante a pós-graduação.

Ao produtor rural Ademir Uemura por ter cedido a área para a realização do experimento e ao Engenheiro Agrônomo da Cooperativa Integrada – Regional Mauá da Serra, PR por intermediar a solicitação da área.

À minha família, pai, mãe e irmã, Celso, Norma e Ligia pelo apoio incondicional na busca dos meus sonhos.

A todos os envolvidos direto e indiretamente, assim como aqueles que conviveram durante esse período na cidade de Botucatu – SP, além dos meus amigos da República Zona Azul, ao qual pude contemplar bons momentos de confraternização e amizade.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pelo apoio na realização do trabalho – Código de Financiamento 001.

A todos, o meu muitíssimo obrigado!



## RESUMO

O uso do sensoriamento remoto (SR) na agricultura vem sendo amplamente utilizada principalmente em extensas áreas na inferência sobre os processos biológicos das plantas. Neste contexto, para um melhor entendimento sobre a evolução dos parâmetros de publicações sobre as plataformas de SR de baixa cobertura em área, como as Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), primeiramente, fez-se o estudo de revisão através da análise bibliométrica. O estudo foi feito com dados da plataforma *Scopus (Elsevier)*, considerando os últimos 26 anos, quanto ao número de publicações, tipos de publicações, revistas, países, instituições de pesquisa, e palavras-chave. A pesquisa com base nas RPAs demonstrou ser um campo de estudo amplamente fragmentada. Os principais tópicos estão intimamente relacionados com o monitoramento das lavouras assim como no uso da agricultura de precisão, focados principalmente em estudos para a real aplicação e com alta acurácia, como os dados obtidos a partir de laser e radar para análise de estrutura de dossel e mapeamento de vegetação. No segundo capítulo, a aplicação com o uso de RPA foi apresentada e avaliada através de um fluxograma combinando as RPAs e programa de processamento de código aberto e livre na contagem de plantas de milho em estágio vegetativo inicial em condições de campo comercial na de grãos. O fluxograma implementado demonstrou ser capaz de detectar e contar plantas de milho. A avaliação da performance deste fluxograma é dependente da resolução espacial das imagens adquiridas, avaliadas como a principal limitação neste trabalho. Limitações e pesquisas futuras são apresentadas no decorrer do artigo.

**Palavras-chave:** aeronave remotamente pilotada; milho; agricultura de precisão.



## ABSTRACT

The use of remote sensing (SR) in agriculture has been widely spread mainly in extensive areas in inferring plants biological processes. In this context, for a better understanding on the growth of publications on SR platforms with low area coverage, such as Remotely Piloted Aircraft (RPA), firstly, a review study was carried out through bibliometric analysis. The study was carried out with data from the Scopus platform (Elsevier), considering the last 26 years, regarding the number of publications, types of publications, journals, countries, research institutions, and keywords. RPA-based research has proven to be a largely fragmented field of study. The main topics are closely related to crop monitoring as well as the use of precision agriculture, mainly focused on studies for real application and with high accuracy, such as laser and radar data for canopy structure analysis and vegetation mapping. In the second chapter, the application with the use of RPA was presented and evaluated through a workflow combining the RPAs and an open-source processing program in counting early vegetative-stage maize plants under commercial grain field conditions. The implemented workflow proved to be able to detect and count corn plants. The evaluation of the performance of this workflow depends on the spatial resolution of the acquired images, evaluated as the main limitation in this work. Limitations and future research are presented throughout the article.

**Keywords:** remotely piloted aircraft; maize; precision agriculture.



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
CSA	<i>Climate-Smart Agriculture</i>
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
ICA	Instrução de Comando da Aeronáutica
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
OECD	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PMD	Peso Máximo de Decolagem
PPK	<i>Post Processed Kinematics</i>
RGB	<i>Red, Green, Blue</i>
RPA	<i>Remotely Piloted Aircraft</i>
RTK	<i>Real Time Kinematic</i>
USAID	Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional
VANT	Veículo Aéreo não Tripulado





# SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	17
<b>CAPÍTULO 1 - AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (RPA) EM ESTUDOS AGRÍCOLAS: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA...</b>	20
1.1 INTRODUÇÃO.....	21
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
1.2.1 DADOS.....	23
1.2.2 ANÁLISE.....	23
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
1.4 CONCLUSÃO.....	35
REFERÊNCIAS.....	36
<b>CAPÍTULO 2 - CONTAGEM DE PLANTAS DE MILHO (<i>Zea mays</i>) EM ESTÁGIO VEGETATIVO ATRAVÉS DE IMAGENS AÉREAS CAPTURADAS POR UMA AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (RPA)</b> .....	40
2.1 INTRODUÇÃO.....	41
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	45
2.2.1 ÁREA EXPERIMENTAL.....	45
2.2.2 PLATAFORMA, SENSOR E DADOS.....	46
2.2.3 PRÉ-PROCESSAMENTO.....	48
2.2.4 CONTAGEM DE PLANTAS.....	49
2.2.5 AVALIAÇÃO DE PERFORMANCE.....	49
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
2.4 CONCLUSÃO.....	57
REFERÊNCIAS.....	58
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	61
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	63



## INTRODUÇÃO GERAL

Grandes desafios para o desenvolvimento sustentável estão centrados nas projeções da população mundial. Na metade do ano de 2019, a população mundial alcançou os 7,7 bilhões, crescimento de 1 bilhão desde o ano de 2007 e 2 bilhões desde 1994 (ONU, 2019). A população mundial tem projeções para atingir 8,5 bilhões em 2030, 9,7 bilhões em 2050 e 10,9 bilhões em 2100, de acordo com variáveis medianas de projeção (ONU, 2019).

A criação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) pela ONU, tem como objetivo proporcionar um melhor futuro para todos, sem exceção, observando todos os critérios para tal (ONU, 2015). O rápido crescimento populacional apresenta grande desafio para o desenvolvimento sustentável. Alguns países que enfrentam esta expansão estão com dificuldades adicionais para combater a fome e desnutrição, bem como, erradicar a pobreza, aumentar a equidade, e aumentar os índices de cobertura e qualidade do sistema de saúde e escolar (ONU, 2015).

O papel da agricultura para a otimização da produção de alimentos a nível mundial será grande. Há cerca de 1,56 bilhões de hectares de lavouras no mundo (FAOSTAT, 2018) e uma área per capital estimada de aproximadamente 5 hectares por pessoa, com a população mundial em 2017 de 7,7 bilhões (ONU, 2019). No entanto, há muita divergência em relação a produtividade, em função dos solos, clima, tecnologia, manejo e tipo e qualidade dos produtos cultivados resultando em grandes diferenças de áreas per capita entre os países.

As maiores extensões de área plantadas no mundo estão nos países como a Índia, Estados Unidos, China e Rússia, totalizando 36% da área agricultável a nível mundial (FAOSTAT, 2018). Apesar das grandes extensões, Índia, Estados Unidos e China, respectivamente, utilizam cerca de 60,5%, 18,3%, 17,7% de suas áreas para a produção agrícola, valores estes superiores quando comparado ao Brasil, que possui a quinta maior área agrícola, com 7,6% de sua área voltada para a atividade agrícola, mostrando-se altamente eficiente por representar 14% da produção global e 23% da exportação de commodities agrícolas e pescados, com a maior taxa de crescimento na produtividade agrícola ao ano (3%) durante os anos de 1991 e 2015

(OECD/FAO, 2019), consolidando-o como grande produtor de alimentos para o mundo.

Dentre as oleaginosas e cereais, destaca-se a cultura do milho. A produção global de milho é projetada de 183 para 1311 Mt para a próxima década, com incrementos por parte do Brasil de 25 Mt, pelo aumento da área plantada da cultura (novas áreas e rotação de cultura) e aumento de produtividade, motivado pelas políticas favoráveis e depreciação da moeda (OECD/FAO, 2019). A nível global, este crescimento tanto em área como em produtividade é estimado em aproximadamente 4% e 12%, respectivamente, até o ano de 2028 (OECD/FAO, 2019).

A interação entre as 3 variáveis – genética, ambiente e manejo – é resultante do aumento de produtividade das diversas culturas ao redor do mundo. Estudos da produtividade de grãos sobre o preparado de solo podem ser afetados por diversos fatores, como o clima, propriedades do solo, culturas, e suas interações com a rotação de cultura, cultivares, manejo, e disponibilidade de água durante o ciclo da cultura (ALVAREZ; STEINBACK, 2009). Das 3 variáveis, o manejo é o único que pode ser gerenciado pelo homem com as devidas escolhas, afetando diretamente no genótipo (desenvolvimento de variedades mais produtivas), ambiente (fatores abióticos e bióticos), e na interação entre estes fatores. Assim, ao passo em que o aumento da produção está decrescendo em relação ao aumento populacional - pelo decréscimo de áreas agricultáveis -, a produtividade em ascensão, além da disponibilidade de recursos naturais como a água, novos estudos para o melhor gerenciamento e desenvolvimento das culturas são indispensáveis. O objetivo 2, “Acabar com a fome”, de acordo a agenda 2030 (ONU, 2015), demandará um sistema produtivo de alimentos eficiente, sustentável, inclusivo, transparente e resiliente (FAO, 2017).

Uma solução alternativa são as inovações digitais e tecnológicas. Neste setor de agricultura e alimentos, o envolvimento de tecnologias mobile, serviços de sensoriamento remoto já estão beneficiando produtores rurais para o acesso a informação, recursos, mercado financeiro e treinamento. O suporte de tecnologias digitais está proporcionando novas oportunidades para integrar produtores rurais ao sistema de tomadas de decisões com base em dados (USAID, 2018).

Com isso, visando ampliar as pesquisas relacionadas a tecnologias utilizada na agricultura, como a de uma Aeronave Remotamente Pilotada (RPA), optou-se por realizar uma análise bibliométrica com base nos bancos de dados de pesquisa e o

estudo da aplicação da ferramenta para avaliar a acurácia e auxiliar produtores rurais na tomada de decisão com base em dados levantados a campo.

## CAPÍTULO 01

### AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (RPA) EM ESTUDOS AGRÍCOLAS: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Autor: Tiago Makoto Otani

#### RESUMO

As Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs) representam uma nova aposta para a obtenção de imagens aéreas de alta resolução espacial, com alta flexibilidade de seu uso e de baixo-custo. Progressos realizados no campo dos sensores têm capacitado o embarcamento destes variados dispositivos de captura de dados: câmeras com alta resolução espacial, câmeras multiespectrais, sensores para a medição da qualidade do ar, lidar, assim como para a distribuição de insumos agrícolas, como produtos biológicos e químicos, entre outros. Estes sensores quando acoplados as RPA de forma georreferenciada, possibilitam o suporte para investigações nas áreas científicas da agricultura. Com isso, o objetivo deste estudo foi o de analisar os últimos 26 anos do uso das RPAs na agricultura em termos de: número de publicações, tipos de publicações, revistas, países, instituições científicas, e palavras-chave. Resultados demonstram ainda que a área está fragmentada, mas com diversos tópicos emergentes. A agricultura utiliza a RPA para diversas aplicações, dentre as quais a irrigação, NDVI, evapotranspiração e mudanças climáticas grandemente evidenciadas em panorama geral.

**Palavras-chave:** aeronave remotamente pilotada; agricultura; sensoriamento remoto.

## 1.1 INTRODUÇÃO

A utilização de sensoriamento remoto está cada vez mais constante nas propriedades rurais do Brasil e do mundo. Normalmente, estas aplicações necessitam de alta resolução temporal. Resolução temporal é a frequência com que uma mesma área é escaneada pelas ferramentas de sensoriamento remoto. Portanto, as Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs), comumente chamados de drone ou VANTs, que possuem tecnologia de equipamentos embarcados, principalmente, como o GNSS e câmeras digitais, tornaram-se um foco de pesquisa (GRENZDÖRFFER; ENGEL; TEICHERT, 2008). A atenção por sua versatilidade, flexibilidade de uso, estão o tornando como ferramentas emergentes, com ampla perspectiva e grande variedade de aplicações nos diversos setores científicos (DE RANGO et al., 2017).

Inicialmente, as primeiras aplicações eram somente para o uso militar, com posterior adoção do setor cível (RODRIGUES et al., 2017). As RPAs são classificados em 3 classes, diferenciando-os com intervalos de peso máximo de decolagem (PMD): classe 01 com PMD maior que 150 Kg, classe 02 com PMD maior de 25 Kg e menor que 150 Kg, e classe 03 com PMD de até 25 Kg (ANAC, 2017).

Progressos foram alcançados para a real utilização com relação a miniaturização dos dispositivos embarcados, possibilitando a diminuição da carga útil, permitindo o uso dos variados sensores – câmeras digitais de alta resolução, câmeras infravermelho/térmicos, câmeras multiespectrais, lidar, sensores para o monitoramento da qualidade do ar, além de dispositivos utilizadas na logística de entrega, distribuição de produtos agrícolas, comerciais (KATSIGIANNIS et al., 2016) e de sensores capazes de se comunicar entre si nas missões cooperativas de alta complexidade (KAMINER et al., 2017).

Além disso, o avanço na tecnologia computacional, desenvolvimento de softwares, materiais mais leves, GNSS (supracitado), avanços na comunicação de dados, sofisticados sensores, miniaturização (supracitado), são os motivos para o desenvolvimento das RPAs (JORGE; INAMASU, 2014).

O monitoramento e mapeamento de tendências e variabilidades no campo através do uso de ferramentas como os sensores ópticos e térmicos quando associados aos sistemas de globais de navegação por satélite (GNSS), possibilitam as investigações, que em alguns momentos não são possíveis de serem observadas por meios tradicionais em solo, e nem sempre evidentes, como a detecção de doenças em culturas (NEBIKER et al., 2016). Ademais, as imagens aéreas com suas altas resoluções espaciais, em nível centimétrico, podem fornecer dados a um custo baixo em áreas relativamente grandes (CHEN et al., 2018).

O uso de inovações na agricultura é um assunto muito discutido por diversos autores internacionais e nacionais por sua relevância para os próximos anos, com discussões que abrangem desde críticas as produções agrícolas em grande escala pelo impacto ambiental causado, mas também através de sistemas como a agricultura ambientalmente inteligente (CSA), apoiadas por narrativas dominantes do *status quo* global, da agricultura industrial e cadeia de alimentos (LAJOIE-O'MALLEY et al., 2020). Respostas globais em inovação na agricultura já estão sendo observadas em diversos países como o México, Paquistão, Kenya e Zimbábue para atingir rapidamente a segurança alimentar e os objetivos de desenvolvimento sustentável no século XXI (FAO, 2018).

Com isso, o melhor entendimento das tendências e lacunas nos estudos agrícolas com RPAs se faz necessário disponibilizando novas aplicações no dia a dia do produtor rural brasileiro. Uma ampla área de tópicos científicos são abordados na comunidade científica em busca de novos métodos de aquisição de dados para uma melhor tomada de decisão, tornando cada vez mais consolidada e crescente este campo de pesquisa (KOVACS et al., 2016; SHAMSHIRI et al., 2018).

Portanto, os objetivos do presente artigo são: (I) estudar a tendência temporal dos últimos vinte anos no uso de RPAs nas áreas de pesquisa agrícola em termos de número de artigos, tipo de publicações, periódicos, países e organizações científicas envolvidas por uma análise bibliométrica; e (II) identificar os principais tópicos e palavras-chave usadas nas publicações científicas por uma abordagem de mapeamento científico.



## 1.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 1.2.1 DADOS

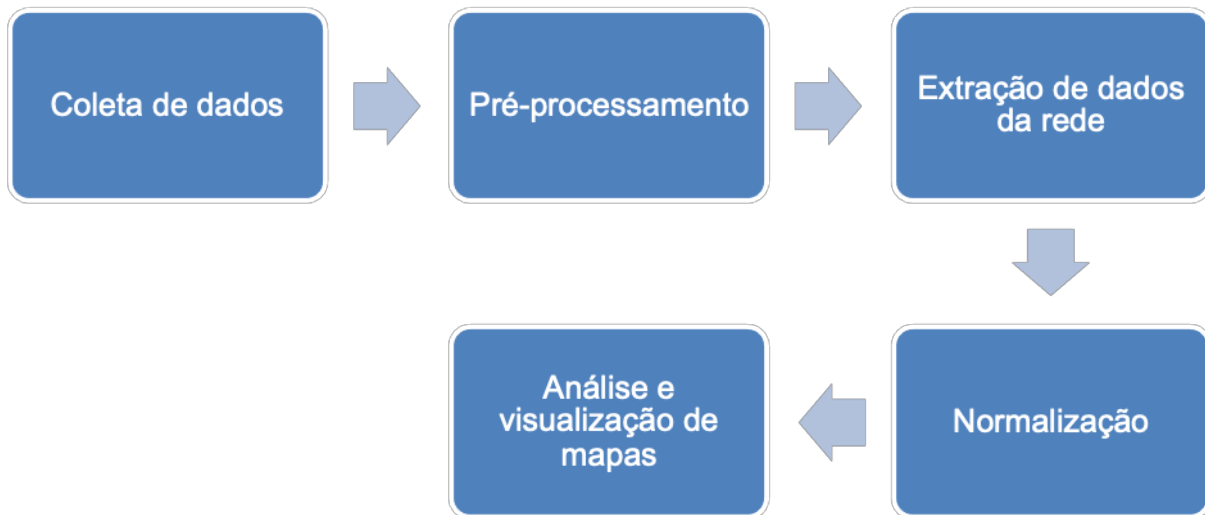
Os dados foram coletados a partir do banco de dados da empresa Elsevier Scopus, com base em artigos, revisões, capítulos de livros, notas técnicas, artigos em formato de cartas, publicadas na língua inglesa, a partir do ano de 1995 até o ano de 2021.

Para ordenar os documentos de interesse, a pesquisa com terminologias específicas foi utilizada buscando em títulos, resumos, palavras chaves e metodologias. Os termos de procura foram: Aeronave Remotamente Pilotada “*Remotely Piloted Aircraft*” ou na sigla RPA, “*Unmanned Aerial Vehicle*” ou na sigla UAV, “Drone” e “Validation”, além do refinamento da busca nas áreas específicas de ciências biológicas, agrárias e do meio ambiente. A procura encontrou 555 publicações dentro da base de dados.

### 1.2.2 ANÁLISE

O fluxograma (Figura 01) da análise bibliométrica é dividida em: coleta de dados; pré-processamento, extração da rede; normalização; análise e visualização dos mapas (MORRIS; VAN DER VEER MARTENS, 2008). Após a recuperação dos dados, o pré-processamento foi realizado de acordo com as estatísticas da plataforma Scopus nas publicações geradas na busca entre os anos de 1995 e 2021. A análise temporal quanto aos números de publicações e as revistas com maiores participações foi avaliada.

**Figura 01 – Fluxograma de trabalho para a análise bibliométrica.**



A segunda análise foi composta pela extração dos dados da internet, mapeamento científico e visualização das conexões dentro dos dados bibliométricos. Para a análise do mapeamento científico, foi utilizado o programa livre VOSviewer (VAN ECK; WALTMAN, 2010). Primeiramente, a rede é construída com base nos dados adicionadas ao programa, com posterior análise de relevância calculada, resultando em um cluster sobre os dados de publicações identificados (VAN ECK; WALTMAN, 2010). Por fim, o mapa é criado com base na rede construída (VAN ECK; WALTMAN, 2014). Para quantificar a colaboração dentro das palavras chaves, realizou um estudo dentre os países, instituições de pesquisa, e as palavras com maiores índices de correlação, com foco nos anos em que foram publicados mais que 30 documentos, totalizando 450 documentos entre os anos de 2016 e 2021.

A primeira análise quantificou os países com maiores números de publicações, bem como as organizações. Para melhor visualização dos anos, os dados foram subdivididos em 5 partes com 1 ano cada parte para analisar a evolução durante o período. Para analisar as conexões entre os países e instituições de pesquisa, foi realizado uma análise de coautoria, com o número mínimo de 20 documentos por país e 2 documentos por instituição de pesquisa. Por fim, uma análise de palavras chaves foi testada através de um teste de co-ocorrência com um limite de 7 (número de vezes que a palavra deve estar presente no banco de dados).

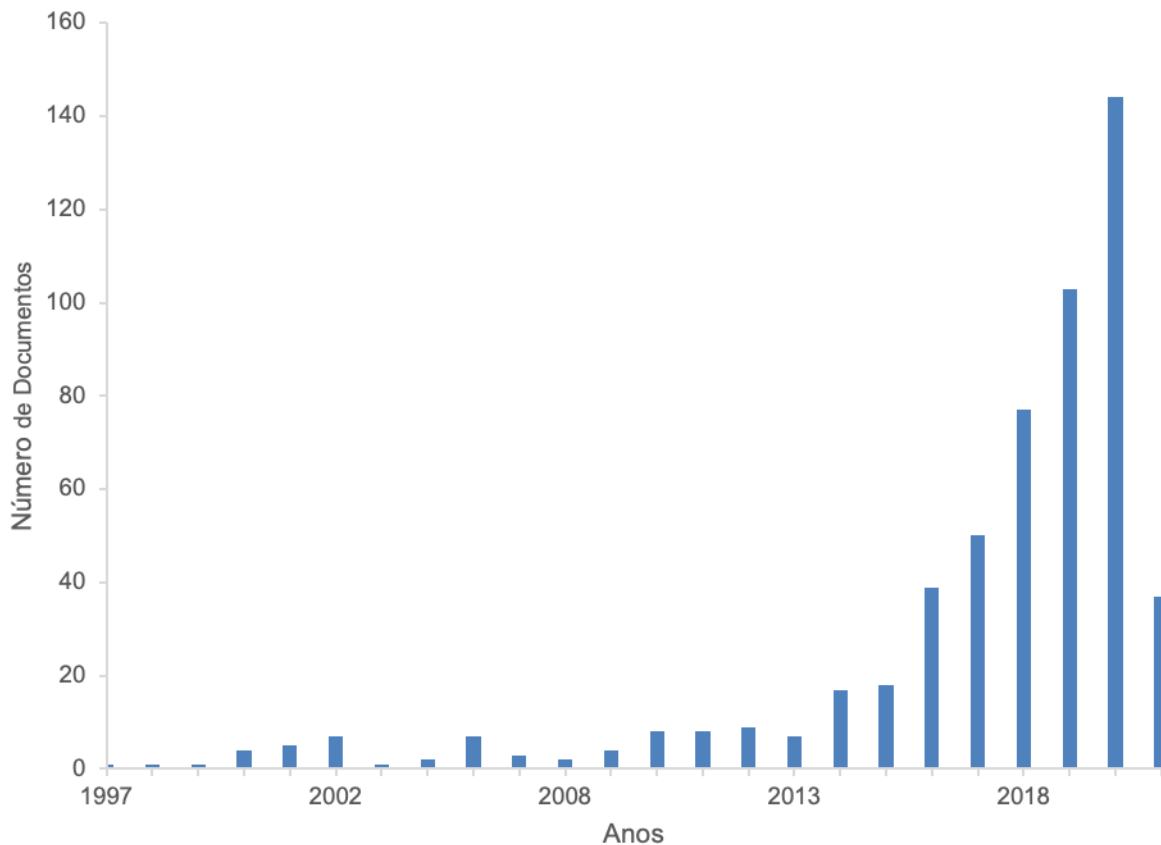
### 1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados indicam que ao longo dos últimos anos as pesquisas relacionadas aos Veículos Aéreos não Tripulados no setor agrícola vem crescendo de forma constante. Uma das hipóteses é com base no desenvolvimento da ferramenta como uma plataforma de sensoriamento remoto para a coleta de dados acessíveis, antes feitas por aeronaves tripuladas na captura de imagens aéreas. Estudos demonstram que o uso destas ferramentas está focado principalmente no método de coleta e na qualidade da aquisição dos dados (SINGH; FRAZIER, 2018), dificultando a adoção completa desta tecnologia no setor agrícola pela necessidade das etapas seguintes como o processamento e análise destes dados para a tomada de decisão (MARTINELLI SANCHES et al., 2018).

A revisão bibliográfica contribui para o melhor entendimento das estruturas de pesquisas dos veículos aéreos não tripulados em ambiente agrícola, possibilitando entender melhor suas aplicações, tendências e desenvolvimento (KIM et al., 2019). O mapeamento científico, porém, é uma revisão emergente e que possibilita a estruturação de um tópico a um nível nacional, internacional, com um ponto de vista interdisciplinar. Além disso, pode revelar novas oportunidades de pesquisas e sobreposições de tópicos já explorados.

Na primeira etapa da análise foram identificados 555 documentos científicos indexados dentro da plataforma *Scopus* durante o período de 1997 até o ano de 2021. A figura 02 mostra uma tendência estável dos números de trabalhos publicados até o ano de 2013. Após este ano, houve crescimento exponencial no número em todos os anos de publicações até o dia em que foram coletados os dados de publicações, corroborando com a mesma ideia em de crescimento da tendência de aplicações de RPA na agricultura (CHABOT, 2018). As maiores porcentagens de crescimento, porém, foram entre os anos de 2015 e 2016 (taxa de publicação de +117%) e 2019 e 2020 (taxa de publicação de +39%).

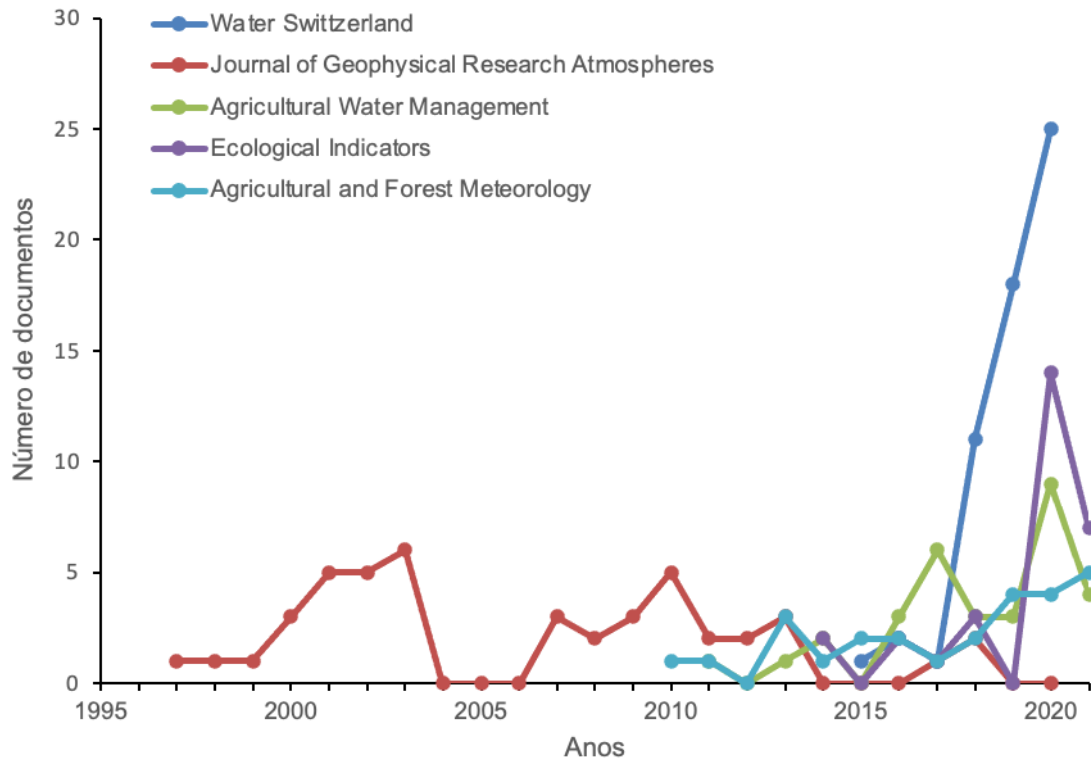
**Figura 02 - Tendência anual de publicações científicas sobre a pesquisa de validação das tecnologias na agricultura de Aeronaves Remotamente Pilotadas (2016-2021).**



Os trabalhos publicados neste período são distribuídos em tipos de documentos: 82,4% em artigos científicos, 10,4% em revisões, 2,7% em capítulos de livro, 1,3% em livros, 1,3% resumo em conferências, e outros tipos de documentos (2%) como editoriais, notas, cartas, artigos em imprensa.

Atualmente, 124 revistas publicaram sobre o assunto validação e RPA relacionados à agricultura e meio ambiente. Na figura 03 é possível observar as 8 revistas que publicaram com maior frequência entre os anos de 1997 e 2021, com no mínimo 25 publicações no período. As revistas mais ativas são: *Water Switzerland* (58 documentos), *Journal of Geophysical Research Atmospheres* (45 documentos), *Agricultural Water Management* (32 documentos), *Ecological Indicators* (29 documentos) e *Agricultural and Forest Meteorology* (26 documentos). Para a maioria destas revistas o número máximo de publicações foi no ano de 2020.

**Figura 03 - Tendência anual das revistas que mais publicaram sobre a validação da tecnologia de Aeronaves Remotamente Pilotadas (2016-2021).**

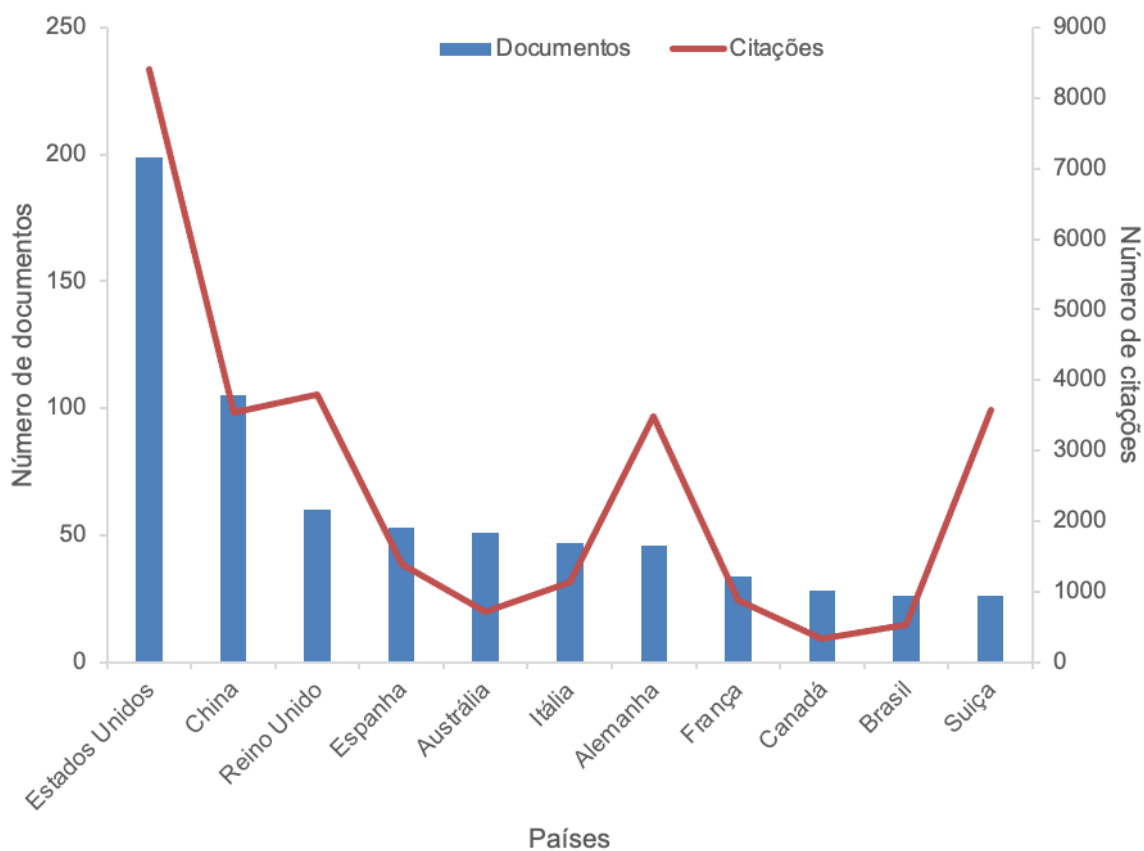


É possível observar que durante os primeiros anos a única revista que possuía publicação na área de RPA na agricultura foi a revista “*Journal of Geophysical Research Atmospheres*”, que representa uma revista técnica sobre os avanços no entendimento sobre as propriedades e processos atmosféricos; Por outro lado, em 2010, os primeiros artigos foram publicados em revistas com maiores vieses para aplicações em agricultura como a “*Agricultural and Forest Meteorology*”, e; em 2013, na revista “*Agricultural Water Management*”.

A figura 4 mostra os países com maior frequência de publicações (maiores que 20 documentos) relacionado ao assunto em questão durante o período de 2016-2021: EUA (199 documentos e 8410 citações), China (105 documentos e 3535 citações), Reino Unido (60 documentos e 3801 citações), Espanha (53 documentos e 1392 citações), Austrália (51 documentos e 719 citações), Itália (47 documentos e 1126 citações), Alemanha (46 documentos e 3494 citações), França (34 documentos

e 885 citações), Canadá (28 documentos e 330 citações), Brasil e Suíça (ambos publicaram 26 documentos com 530 e 3582 citações, respectivamente). Apesar de Noruega, Japão e Índia não serem os países mais produtivos, eles tiveram os documentos mais citados dentre todos os países que publicaram (em média 358, 228, 222 citações por documento, respectivamente).

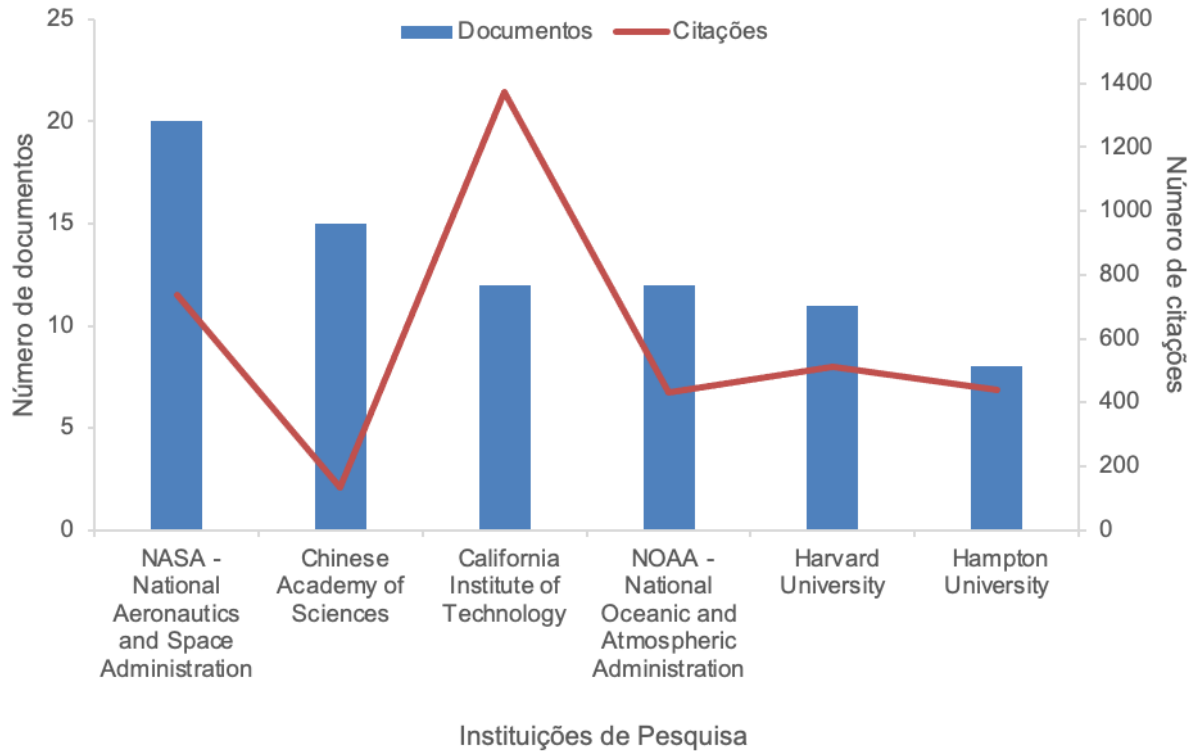
**Figura 04 - Número de publicações científicas sobre a validação da tecnologia de Aeronave Remotamente Pilotada na agricultura, por países e citações relacionadas (2016-2021).**



Foram observadas 6 organizações mais produtivas durante o período de 2016 e 2021, através da quantidade mínima de 7 documentos por instituição de pesquisa (Figura 05). Sendo majoritariamente instituições Estadunidenses, liderada pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) com 20 publicações, *California Institute of Technology*, *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) com 12 publicações cada, *Harvard University* com 11 publicações e *Hampton University* com 8 publicações. Na China, apenas 1 instituição de pesquisa publicou mais do que 7 documentos no período, a *Chinese Academy of Sciences* (15

documentos), situando-se em segundo lugar como instituição que mais publico durante o período junto a NASA.

**Figura 05 - Número de publicações científicas de organizações e número de citações sobre RPA na pesquisa agrícola (2016-2021).**

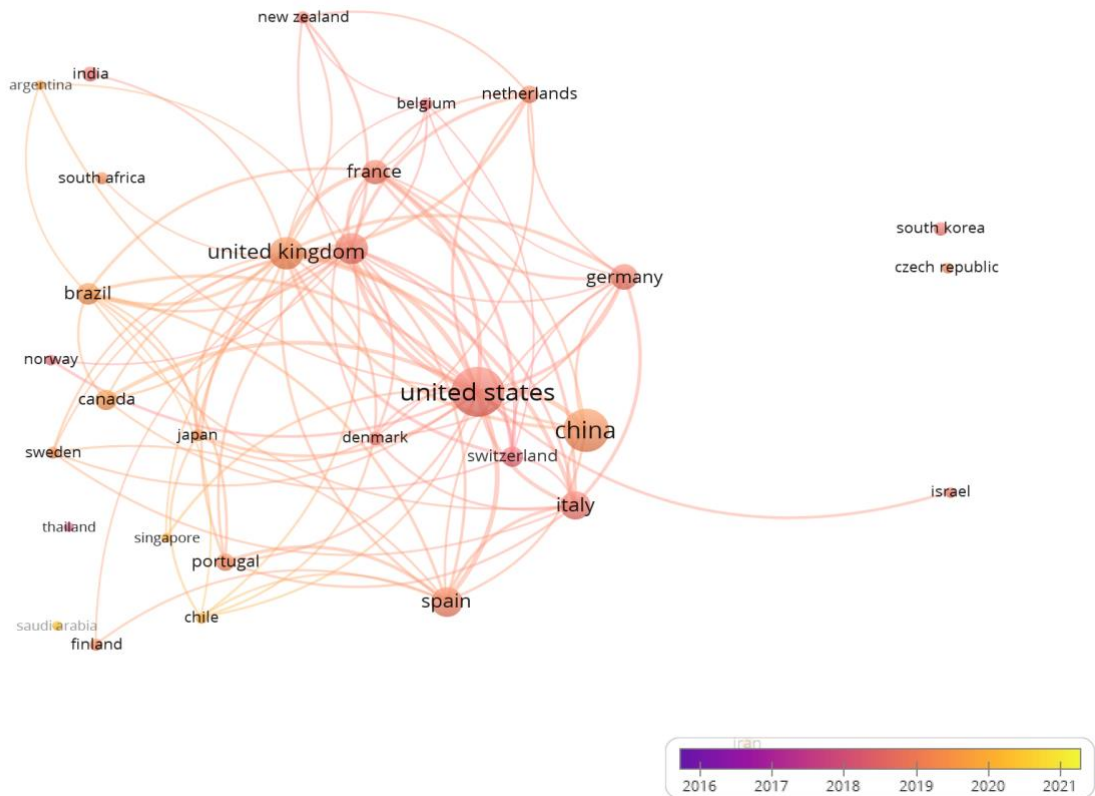


Através da análise da rede científica, 4 mapas foram gerados a partir dos dados coletados no banco de dados da empresa Elsevier (Figura 06 - 08), porém, apenas 3 foram passíveis de serem avaliados. 73 foram os países que publicaram no mínimo 1 documento sobre o tema neste período entre 2016 e 2021 (Figura 06), mas apenas 42% dos países publicaram pelo menos 5 documentos neste período. O país que mais publicou durante o período foi o Estados Unidos principalmente entre os anos de 2018 e 2019. Os países que seguem com maiores números de publicações são: China, com maiores atividades entre os anos de 2018 e 2019, Reino Unido e Austrália com maiores atividades entre os anos de 2019 e 2020. Argentina, Arábia Saudita, Singapura e Tailândia seguem como países emergentes neste ambiente de estudo, com maiores atividades entre os anos de 2019 e 2020, 2020, 2019 e 2020, 2017 e 2018, respectivamente.

Com relação à coautoria entre os mesmos, Estados Unidos colaboraram com a grande maioria dos países, enquanto alguns países não tiveram nenhuma colaboração como a Coreia do Sul, República Tcheca e Arábia Saudita. Os países

como a África do Sul, Índia e Israel tiveram colaboração com um único país, Austrália, Reino Unido e Estados Unidos, respectivamente.

**Figura 06 - Mapeamento científico de colaborações entre os países (2016-2021). Linhas (100) indicam as ligações de co-ocorrência entre os termos.**



Ambos os países, Singapura e Noruega colaboraram com 2 países, Austrália e Estados Unidos, além de Finlândia que colaborou com a Espanha e Austrália. A influência por padrão é 1, ou seja, uma publicação em coautoria. É possível observar uma relação próxima do Brasil com Canadá, bem como Japão, Reino Unido, Austrália, Argentina, Portugal, Chile, França, Estados Unidos, Espanha e Itália.

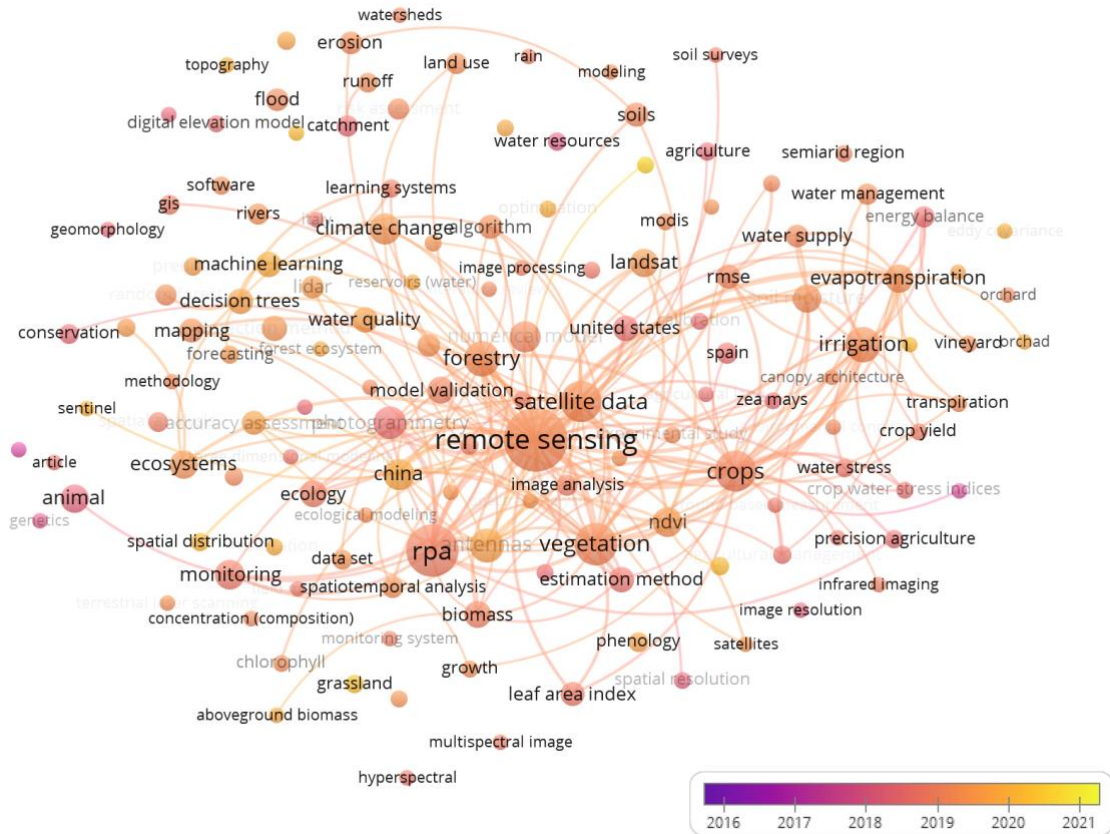
Nenhuma cooperação foi observada no resultado da pesquisa a partir da análise de cooperação entre as instituições de acordo com as publicações científicas produzidas no período (2016-2021), considerando apenas as instituições com 2 ou mais documentos, que totalizaram uma quantidade de 37 instituições de pesquisa.

Na figura 07, o mapeamento da rede de palavras-chaves demonstrou que a palavra “Sensoriamento Remoto” foi amplamente utilizada nas pesquisas sobre as RPAs como esperado, por serem conhecidas como ferramentas embarcadas com tal tecnologia capazes de adquirirem informações remotamente, definição que



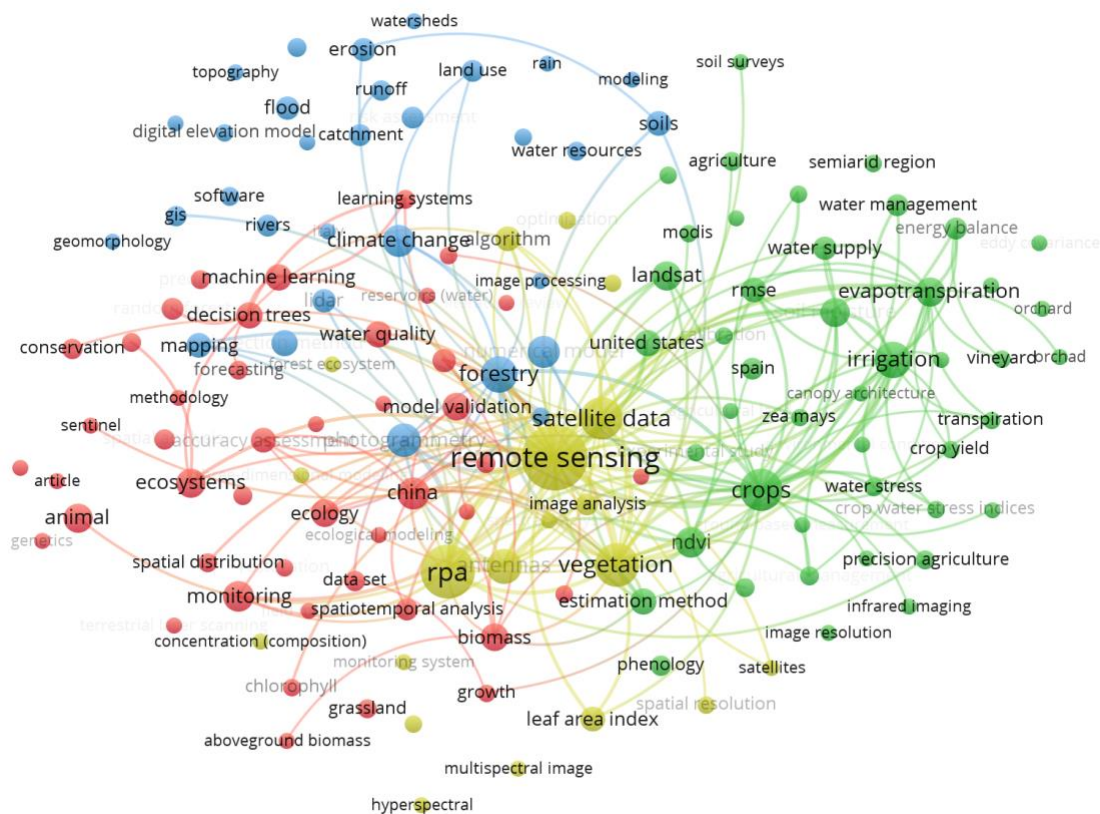
compreende a palavra-chave em questão, além de complementar o rol de processos da mesma.

**Figura 07 - Mapeamento científico de redes entre palavras-chaves mais utilizadas em publicações sobre RPA (2016-2021). Linhas (200) indicam as ligações de co-ocorrência entre os termos.**



Na figura 08, um mapeamento de cluster foi obtido através da análise da rede de palavras-chaves com a divisão em 4 grupos: o primeiro cluster (vermelho) com as seguintes palavras-chaves: “ecossistemas”, “monitoramento”, “análise espacial”, “predição”, “validação de modelo”, “conservação”, “machine learning”, entre outros; o segundo cluster (verde) com as palavras-chaves “cultura”, “irrigação”, “evapotranspiração”, “suprimento de água”, “NDVI”, “balanço de energia”, “agricultura de precisão”, entre outros; o terceiro cluster (azul) com as palavras-chaves, “fotogrametria”, “floresta”, “mudanças climáticas”, “mapeamento”, entre outros; o quarto cluster (amarelo) com as palavras-chaves, “sensoriamento remoto”, “dados de satélite”, “RPA”, “antenas”, “vegetação”, “análise de imagem”, “índice de área foliar”, “resolução espacial”, entre outras.

**Figura 08 - Mapeamento científico de cluster das palavras-chaves mais utilizadas nas publicações sobre RPA (2016-2021). Linhas (200) indicam as ligações de co-ocorrência entre os termos.**



Apesar da grande complexidade das conexões entre as palavras-chaves, é possível observar 4 grandes grupos representadas pela cor verde, azul, vermelho e amarelo, sendo o primeiro grupo relacionada à agricultura, o segundo grupo com floresta, o terceiro grupo com validação de modelos e o quarto grupo representados pelas principais fontes de dados que são as aeronaves remotamente pilotadas e imagens de satélite. De maneira geral, a análise de palavras-chaves representa a dinâmica das variadas aplicações sobre o uso do sensoriamento remoto na agricultura (HUANG et al., 2018).

No primeiro grupo é possível observar a pesquisa principalmente em culturas e na sua capacidade em obter resultados através da irrigação, do manejo da água através do índice de evapotranspiração (ABOUTALEBI et al., 2020; SANTO et al., 2020) e do índice de vegetação normalizada (NDVI) na prática de agricultura

de precisão (BENEDETTI, ROSSINI, 1993; EPINAT et al., 2001; HILL, DONALDS, 2003). O uso de RPA em lavouras agrícolas proporcionaram uma otimização na coleta destes dados, ou seja, o preenchimento do intervalo temporal das imagens de satélites, além do custo-benefício e no recobrimento de nuvens. Com isso, a agricultura de precisão foi a principal área beneficiada pelo uso das RPAs, possibilitando a coleta de dados para o monitoramento da saúde vegetal, do mapeamento da variabilidade da cultura e consequente facilitação no gerenciamento para melhores decisões baseada em dados (STAFFORD, 2000; KAMBLE, GUNASEKARAN, GAWANKAR, 2020);

A análise do segundo grupo pode ser interpretada através dos estudos dos ecossistemas florestais, sendo estes estudos intimamente ligados à prováveis soluções contra os efeitos dos gases do efeito estufa nas mudanças climáticas deste século (MOOMAW, LAW e GOETZ, 2020). Além disso, o uso de sensores remotos de forma ativa como os sensores lidar quando embarcados nos sistemas das RPAs podem resultar em uma ferramenta de alta resolução e temporal para o monitoramento através do inventário florestal, no cálculo de biomassa e estoque de carbono (WALLACE et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2021).

No terceiro grupo, o mapeamento mostra a união de palavras relacionadas ao monitoramento, a validação dos variados modelos, como o cálculo de índices de biomassa em diferentes ecossistemas através de metodologias como os sistemas de aprendizado e árvore de decisão. Modelos preditivos para a previsão de produtividades na cultura de Milho para grãos com validação ( $r^2 = 0,81$ ) com o uso de modelo espectro-agrometeorológico (ROJAS, 2007) e através de modelos espectrais e tridimensionais com erros relativos de 14,77% (GILLIOT et al., 2020).

No quarto e último grupo formado por poucas palavras-chaves, porém, com os maiores índices, pode-se observar a formação de duas das principais formas de coleta de dados de forma remota mais importantes no setor agrícola, principalmente ligada aos estudos de vegetação. Visualmente é possível observar que as imagens de satélite estão mais conectadas (próximas) a área de sensoriamento remoto em relação as RPAs, possivelmente pela trajetória que as imagens de satélite possuem desde a década de 1970, durante as primeiras aplicações na previsão de tempo, monitoramento global das condições ambientais, geográficas e geológicas (KUTHADI, 2005). Apesar de distantes, é possível analisar que a ocorrência relacionada a palavra-chave RPA é maior, possivelmente explicado pela custo-

benefício e flexibilidade em obterem imagens de alta resolução na escala centimétrica (SISHODA; RAY; SINGH, 2020) com os devidos olhares a esta ferramenta que desperta grande oportunidade para novas formas de coleta de imagens aéreas e conseqüente crescimento exponencial observado nos gráficos em termos quantitativos na pesquisa durante o período analisado.

## 1.4 CONCLUSÃO

Um panorama geral sobre a análise bibliométrica de Aeronaves Remotamente Pilotadas no setor agrícola foi apresentado. Foi possível identificar a forte presença das instituições americanas entre as organizações de pesquisa mais produtivas e influentes, assim como as principais revistas e palavras-chaves utilizadas. A curva de crescimento observado prevê um enorme potencial para números ainda maiores na produção científica relacionados principalmente aos custos operacionais e novas técnicas de processamento.

Dentre as instituições mais produtivas analisadas neste estudo, a NASA foi classificada como mais influente e produtiva. A Academia Chinesa de Pesquisa em segundo colocado com forte presença, o Instituto de Tecnologia da Califórnia, NOAA, Universidade de Haward e Hampton, em terceiro, quarto, quinto e sexto colocado, respectivamente. No entanto, é importante salientar que esta análise é apenas uma visão geral, e que existem outros artigos de qualidade, e que não foram inseridos dentro deste estudo. Além disso, há uma enorme discussão em como avaliar as publicações porque os valores de cada revista não são iguais, e de acordo com essas considerações, pode haver diferenças nas classificações destes resultados.

## 1.5 REFERÊNCIAS

ABOUTALEBI, Mahyar; TORRES-RUA, Alfonso F.; MCKEE, Mac; KUSTAS, William P.; NIETO, Hector; ALSINA, Maria Mar; WHITE, Alex; PRUEGER, John H.; MCKEE, Lynn; ALFIERI, Joseph. Incorporation of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Point Cloud Products into Remote Sensing Evapotranspiration Models. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 50, 20 dez. 2019. MDPI AG.  
<http://dx.doi.org/10.3390/rs12010050>.

ANAC. Resolução n. 419, de 2 de Maio de 2017. **REGULAMENTO BRASILEIRO DA AVIAÇÃO CIVIL ESPECIAL RBAC-E nº 94**, [s. l.], 2017.

BENEDETTI, Roberto; ROSSINI, Paolo. On the use of NDVI profiles as a tool for agricultural statistics: the case study of wheat yield estimate and forecast in emilia romagna. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 45, n. 3, p. 311-326, set. 1993. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(93\)90113-c](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(93)90113-c).

CHABOT, D. 2018. "Trends in Drone Research and Applications as the Journal of Unmanned Vehicle Systems Turns Five." **Journal of Unmanned Vehicle Systems** 6: vi–xv. doi:10.1139/juvs-2018-0005.

CHEN, Q.; KUTSER, T.; COLLIN, A.; WARNER, T. A. Fine Resolution Remote Sensing of Species in Terrestrial and Coastal Ecosystems. **International Journal of Remote Sensing**, [s. l.], v. 39, n. 17, p. 5597–5599, 2018.

DE RANGO, F.; PALMIERI, N.; SANTAMARIA, A. F.; POTRINO, G. A simulator for UAVs management in agriculture domain. **Simulation Series**, [s. l.], v. 49, n. 10, p. 149–156, 2017.

EPINAT, Virginie; STEIN, Alfred; JONG, Steven M de; BOUMA, Johan. A wavelet characterization of high-resolution NDVI patterns for precision agriculture. **International Journal Of Applied Earth Observation And Geoinformation**, [S.L.], v. 3, n. 2, p. 121-132, jan. 2001. Elsevier BV.  
[http://dx.doi.org/10.1016/s0303-2434\(01\)85003-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0303-2434(01)85003-0).

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2018). **FAO's working on agricultural innovation: Sowing the seeds of transformation to achieve the SDGs**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <  
<http://www.fao.org/documents/card/en/c/ca2460en/>>. Acesso em: 09 de Jun.2020.

GILLIOT, J. M.; MICHELIN, J.; HADJARD, D.; HOUOT, S.. An accurate method for predicting spatial variability of maize yield from UAV-based plant height estimation: a tool for monitoring agronomic field experiments. **Precision Agriculture**, [S.L.], v. 22, n. 3, p. 897-921, 20 out. 2020. Springer Science and Business Media LLC.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s11119-020-09764-w>.

GRENDZDÖRFFER, G.; ENGEL, A.; TEICHERT, B. The photogrammetric potential of low-cost UAVs in forestry and agriculture. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, [s. l.], v.

31, n. B3, p. 1207–1214, 2008.

HILL, Michael J; DONALD, Graham e. Estimating spatio-temporal patterns of agricultural productivity in fragmented landscapes using AVHRR NDVI time series. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 84, n. 3, p. 367-384, mar. 2003. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0034-4257\(02\)00128-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0034-4257(02)00128-1).

HUANG, Yanbo; CHEN, Zhong-Xin; YU, Tao; HUANG, Xiang-Zhi; GU, Xing-Fa. Agricultural remote sensing big data: management and applications. **Journal Of Integrative Agriculture**, [S.L.], v. 17, n. 9, p. 1915-1931, set. 2018. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s2095-3119\(17\)61859-8](http://dx.doi.org/10.1016/s2095-3119(17)61859-8).

JORGE, L. A. de C.; INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em Agricultura de Precisão. In: **Agricultura de Precisão: Resultados de um Novo Olhar**. Brasília. p. 596.

KAMINER, I.; PASCOAL, A.; XARGAY, E.; HOVAKIMYAN, N.; CICHELLA, V.; DOBROKHODOV, V. Summary and Concluding Remarks. In: **Time-Critical Cooperative Control of Autonomous Air Vehicles**. [s.l: s.n.]. v. 4p. 9–15, 2017. KAMBLE, Sachin S.; GUNASEKARAN, Angappa; GAWANKAR, Shradha A.. Achieving sustainable performance in a data-driven agriculture supply chain: a review for research and applications. **International Journal Of Production Economics**, [S.L.], v. 219, p. 179-194, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.05.022>.

KATSIKIANNIS, P.; MISOPOLINOS, L.; LIAKOPOULOS, V.; ALEXANDRIDIS, T. K.; ZALIDIS, G. An autonomous multi-sensor UAV system for reduced-input precision agriculture applications. **24th Mediterranean Conference on Control and Automation, MED 2016**, [s. l.], p. 60–64, 2016.

KIM, Jeongeun; KIM, Seungwon; JU, Chanyoung; SON, Hyung Il. Unmanned Aerial Vehicles in Agriculture: a review of perspective of platform, control, and applications. **Ieee Access**, [S.L.], v. 7, p. 105100-105115, 2019. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/access.2019.2932119>.

KOVACS, M.; GĂMAN., G. A.; PUPAZAN., D.; A. CALAMAR DRAGHICI; IRIMIA, A. Research on the Potentiality of Using Aerial Vehicles for Monitoring the Environment Agent – Air. In: 11TH INTERNATIONAL CONFERENCE 'ENVIRONMENTAL LEGISLATION, SAFETY ENGINEERING AND DISASTER MANAGEMENT, 2016, Cluj-Napoca. **Anais...** Cluj-Napoca

KUTHADI, Sumalatha. **Detection of objects from high-resolution satellite images**. 2005. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência da Computação, University Of Minnesota, Duluth, 2005.

LAJOIE-O'MALLEY, A.; BRONSON, K.; VAN DER BURG, S.; KLERKX, L. The future(s) of digital agriculture and sustainable food systems: An analysis of high-level policy documents. **Ecosystem Services**, [s. l.], v. 45, n. August, p. 101183, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101183>. MARTINELI SANCHES, G., D. D. GARBELLINI, O. T. KÖLLN, A. C. DOS SANTOS

LUCIANO, S. G. QUASSI DE CASTRO, F. M. OKUNO, and H. C. JUNQUEIRA FRANCO. 2018. "The Potential for RGB Images Obtained Using Unmanned Aerial Vehicle to Assess and Predict Yield in Sugarcane Fields." **International Journal of Remote Sensing** 39 (15–16): 5402–5414. doi:10.1080/01431161.2018.1448484.

MOOMAW, William R; LAW, Beverly e; GOETZ, Scott J. Focus on the role of forests and soils in meeting climate change mitigation goals: summary. **Environmental Research Letters**, [S.L.], v. 15, n. 4, p. 045009, 16 abr. 2020. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/ab6b38>.

MORRIS, S. A.; VAN DER VEER MARTENS, B. Mapping research specialties. **Annual Review of Information Science and Technology**, [s. l.], v. 42, p. 213–295, 2008.

NEBIKER, S.; LACK, N.; ABÄCHERLI, M.; LÄDERACH, S. Light-weight multispectral uav sensors and their capabilities for predicting grain yield and detecting plant diseases. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives**, [s. l.], v. 2016-January, n. June, p. 963–970, 2016.

OLIVEIRA, Cinthia Pereira de; FERREIRA, Rinaldo Luiz Caraciolo; SILVA, José Antônio Aleixo da; LIMA, Robson Borges de; SILVA, Emanuel Araújo; SILVA, Anderson Francisco da; LUCENA, Josias Divino Silva de; SANTOS, Nattan Adler Tavares dos; LOPES, Iran Jorge Corrêa; PESSOA, Mayara Maria de Lima. Modeling and Spatialization of Biomass and Carbon Stock Using LiDAR Metrics in Tropical Dry Forest, Brazil. **Forests**, [S.L.], v. 12, n. 4, p. 473, 13 abr. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/f12040473>.

RODRIGUES, B. T. .; RODRIGUES, M. T. .; CAMPOS, S.; CAMPOS, M. .; TARUMOTO, M. B. Possibilidades e métodos de utilização no uso de DRONES/VANTS na agricultura. In: PUTTI, FERNANDO FERRARI, ALLAN LEON CASEMIRO DA SILVA, L. R. A. G. F. (Ed.). **Tecnologias em agricultura sustentável**. Tupã: Associação Amigos da Natureza da Alta Paulista, 2017. v. 53p. 249–269.

SANTOS, Robson Argolo dos; MANTOVANI, Everardo Chartuni; FILGUEIRAS, Roberto; FERNANDES-FILHO, Elpídio Inácio; SILVA, Adelaide Cristielle Barbosa da; VENANCIO, Luan Peroni. Actual Evapotranspiration and Biomass of Maize from a Red–Green–Near-Infrared (RGNIR) Sensor on Board an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). **Water**, [S.L.], v. 12, n. 9, p. 2359, 22 ago. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w12092359>.

SINGH, K. K.; A. E. FRAZIER. 2018. "A Meta-Analysis and Review of Unmanned Aircraft System (UAS) Imagery for Terrestrial Applications." **International Journal of Remote Sensing** 391 (5–16): 5078–5098. doi:10.1080/01431161.2017.1420941.

SISHODIA, Rajendra P.; RAY, Ram L.; SINGH, Sudhir K.. Applications of Remote Sensing in Precision Agriculture: a review. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 12, n. 19, p. 3136, 24 set. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs12193136>.



SHAMSHIRI, R.; WELTZIEN, C.; HAMEED, I.; YULE, I.; GRIFT, T.; BALASUNDRAM, S.; PITONAKOVA, L.; AHMAD, D.; CHOWDHARY, G. Research and Development in Agricultural Robotics: A Perspective of Digital Farming. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, [s. l.], v. 11, n. 4, 2018.

STAFFORD, John V.. Implementing Precision Agriculture in the 21st Century. **Journal Of Agricultural Engineering Research**, [S.L.], v. 76, n. 3, p. 267-275, jul. 2000. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1006/jaer.2000.0577>.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, [s. l.], v. 84, n. 2, p. 523–538, 2010.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Visualizing Bibliometric Networks. In: DING, Y.; R. ROUSSEAU; WOLFRAM, D. (Eds.). **Measuring Scholarly Impact: Methods and Practice**. Berlin: Springer, 2014. p. 285–320.

WALLACE, Luke; LUCIEER, Arko; WATSON, Christopher; TURNER, Darren. Development of a UAV-LiDAR System with Application to Forest Inventory. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 4, n. 6, p. 1519-1543, 25 maio 2012. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs4061519>.

## CAPÍTULO 02

### CONTAGEM DE PLANTAS DE MILHO (*ZEА MAYS*) EM ESTÁGIO VEGETATIVO INICIAL ATRAVÉS DE IMAGENS AÉREAS CAPTURADAS A PARTIR DE UMA AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (RPA)

Autor: Tiago Makoto Otani

#### RESUMO

Milho (*Zea mays L.*) é uma das culturas mais sensíveis aos padrões de plantio. O método mais comum para a contagem do estande de plantas é através da inspeção visual, atividade que dispense um intenso esforço laboral, demorado, enviesado, e pode fazer com que o produtor rural tome decisões menos lucrativas. O objetivo deste artigo foi o desenvolver um fluxo de trabalho capaz de ser operacionalizável, confiável e rápido para o monitoramento das primeiras fases vegetativas do milho na produção de grãos através de imagens aéreas de alta resolução adquiridas por uma Aeronave Remotamente Pilotada de forma automatizada em condições de campo comercial. O tamanho do pixel do terreno base utilizado e esperado para a extração dos dados da cultura foi de 3,3 mm. Para isso, um índice de vegetação foi utilizado para a extrair as informações de cada plantas através da distinção entre a fase vegetal em relação ao solo. Os contornos de cada objeto foram contabilizados através da diferenciação dos objetos através da simulação em mapas topográficos. Diferenças na performance da contagem em função da resolução espacial foi observado. O melhor fluxo de trabalho foi a de 6,6 mm, ou altura de voo de 20 metros, com taxas de acerto de 135%, com superestimação de 35% a mais do que a contabilização real. Para que o fluxo seja implementado de forma correta, as plantas de milho não podem ultrapassar as 3 folhas no momento da coleta das imagens por possíveis sobreposições das folhas nas imagens aéreas.

**Palavras-chave:** aeronave remotamente pilotada; agricultura de precisão; milho.

## 2.1 INTRODUÇÃO

Estudos demonstram que o milho é altamente responsivo à vários tipos de manejo agronômicos, dentre as quais, podendo citar a densidade de população de plantas (CIAMPITTI; VYN, 2011; DE FARIA et al., 2019). O milho tem baixa capacidade de compensar às falhas de plantio dentro de determinado espaçamento com conseqüente penalização pela perda de produção dentro de uma determinada área ao final de seu ciclo (NIELSEN, 2006; SANGOI et al., 2012). O método utilizado para realizar a contagem de população de plantas emergidas é através da inspeção visual (ANDERSON et al., [s.d.]). Este método, por sua vez, é uma atividade executada pelos produtores rurais e pesquisadores de forma trabalhosa, pesada e com alta demanda de tempo. Para tanto, estudos sobre métodos para a avaliação da população final de plantas se fazem necessário. Além disso, os procedimentos de processamento e análise de dados devem ser ágeis o suficiente para que o produtor rural possa realizar as tomadas de decisões dentro de um intervalo de tempo hábil com base nos dados adquiridos com a real necessidade de replantio, por exemplo.

Com o advento das Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs), um grande campo se abre para os estudos sobre uma visão nunca antes explorada anteriormente, visão essa que está atrelada à uma camada próxima à atmosfera, chamada de troposfera. Assim como a tecnologia GPS (*Global Positioning System*), a RPA também está proporcionando benefícios ao setor cível (RODRIGUES et al., 2017). As plataformas de sensoriamento remoto, através do uso desta ferramenta, está entre as tecnologias de sensoriamento remoto mais recentes para áreas de vegetação (SALAMÍ; BARRADO; PASTOR, 2014) e comprovam alta flexibilidade quanto ao uso, baixo custo operacional e alta resolução espacial e temporal (HUNT et al., 2010).

Novas ferramentas para o aprimoramento do cultivo de milho se fazem necessárias para o melhor entendimento do que está afetando a produtividade final de milho. Um dos parâmetros utilizados para estimar novas frentes de estudo é através do número de publicações nas diversas plataformas disponíveis na internet. Durante os anos de 2016 e 2019, a busca através da palavra-chave RPAs têm sido crescentes, resultado demonstrado pelo aumento do número de publicações de 14.100 para 23.600, 1.260 para 2.132 e 3.973 para 7.161 na plataforma de busca

acadêmica da empresa *Google Scholar*, base de dados *Web of Science* e *Scopus*, respectivamente.

Apesar do número crescente de publicações e inúmeros benefícios sobre as novas tecnologias, demonstrado pelo setor de pesquisa e desenvolvimento, a adoção de novas tecnologias, como os sistemas automatizados de robôs, por exemplo, ainda é pouco utilizado pelos produtores rurais no Brasil com 6,5% de adoção (BOLFE et al, 2020), principalmente os produtores de grãos (FILHO; DA CUNHA, 2015). No entanto, esforços estão sendo empreendidos para que ferramentas de baixo custo e alto rendimento operacional sejam desenvolvidas e implementadas para que haja o contínuo desenvolvimento sustentável na cadeia agrícola de produção de grãos.

A cultura do milho (*Zea mays*) é uma das commodities com as maiores produções a nível mundial, sendo considerada uma das culturas anuais de grãos mais importantes no mundo com mais de 70% da produção mundial de milho nos continentes americanos e Ásia, representados pelo Estados Unidos, China, Brasil e Argentina (FAOSTAT, 2018). Mesmo o Brasil sendo o terceiro maior produtor de milho, existem grandes esforços para que o Brasil se desponte como grande produtor em escalas ainda maiores, a exemplos de pesquisas sobre as projeções de produção, consumo e exportação com aumentos de 20,2%, 19,7% e 33,4%, respectivamente, entre os anos safras 2018/2019 à 2028/2029 (MAPA, 2019). No estado de São Paulo, o incremento segue a mesma tendência, taxas de crescimento da produtividade na cultura do milho de 3,5% ao ano durante os anos de 2009 a 2018 (IBGE, 2018), taxa esta superior em relação as projeções em escala nacional de 3% durante o próximo decênio (MAPA, 2019).

Dentro das próximas décadas, portanto, haverá grandes aumentos em níveis de produção, seja através do aumento de área ocupado pela cultura, ou através do aumento da produtividade através da otimização de recursos. Neste último quesito, produtividade, pesquisas demonstram que a cultura de milho tem se mostrado altamente responsiva aos diversos tipos de manejo (CIAMPITTI; VYN, 2011; DE FARIA et al., 2019). Diferentes abordagens podem ser realizadas para a otimização da produtividade, dentre as quais, o plantio cruzado (SILVA et al., 2015). Uma das formas de manejar é através da adequada distribuição uniforme de sementes na área a ser implantada a cultura de acordo com a região e híbrido (NIELSEN, 2006).

A implementação de ferramentas de sensoriamento remoto de monitoramento agrícola através de imagens aéreas ou de satélites estão ganhando importância pela conscientização da tomada de decisão com base em dados de campo. Estudos bem-sucedidos foram realizados por Thorp et al. (2008) através da utilização de dados de imagens de satélites hiper-espectrais para estimar densidades de população em campos de milho. Em seu estudo, as melhores performances foram atingidas em estádios fenológicos mais avançados ( $R^2 = 0.79$ ) utilizando imagens com resoluções espaciais de 6 metros. Porém, a estimativa em estádio fenológicos vegetativos, foi significativamente limitado pela abundância da cobertura de solo em relação à vegetação (. O uso de veículos aéreos não tripulados é uma ferramenta que poderá ser utilizada para preencher esta lacuna.

Com isso, as limitações das plataformas de sensoriamento remoto podem ser superadas pela coleta de imagens aéreas por meio de uma Aeronave Remotamente Pilotada, a qual tem sido desenvolvida como uma nova forma de aquisição de imagens aéreas (TORRES-SÁNCHEZ et al., 2014). A extração de coleta de dados via integração de RPAS com seus respectivos sensores acoplados (RGB, multiespectral, hiperespectrais e termais) estão sendo extensivamente pesquisadas para estimar biomassa (BENDIG et al., 2015), índice de área foliar (BENDIG et al., 2015; MATHEWS; JENSEN, 2013), altura de planta (DE SOUZA et al., 2017), nitrogênio (JORGE; BRANDÃO; INAMASU, 2014; PÖLÖNEN et al., 2013), clorofila (CLEVERS; KOOISTRA, 2012) e temperatura (GÓMEZ-CANDÓN et al., 2016). Culturas e plantas daninhas estão sendo detectadas através de imagens aéreas com resoluções espaciais submilimétricas (MADSEN et al., 2017; PEÑA et al., 2013). Apesar de estudos mostrarem que é possível detectar diferenças entre folhas novas e velhas da cultura de milho ( $R^2 = 0.89$ ) (GNÄDINGER; SCHMIDHALTER, 2017), há um grande desafio para a segmentação entre as culturas econômicas e plantas daninhas provocadas devido as semelhanças nas respostas espectrais (BAXES, 1994).

O objetivo do presente artigo é contribuir para o desenvolvimento de ferramentas para a contagem de plantas de milho em estágio vegetativo inicial. Para tanto, foi avaliado a acurácia da contagem com o uso de programas computacionais de código aberto em diferentes resoluções espaciais através de imagens aéreas capturadas por uma Aeronave Remotamente Pilotada de pequeno porte. Em suma, foi implementado um fluxograma de trabalho para a extração de dados métricos das

plantas com o uso de imagens de alta resolução espacial com as seguintes etapas: (i) plano de voo, (ii) coleta de imagens aéreas, (iii) identificação de regiões verdes e não-verdes, (iv) extração geométrica dos objetos verdes, (v) contagem de plantas, (vi) validação.

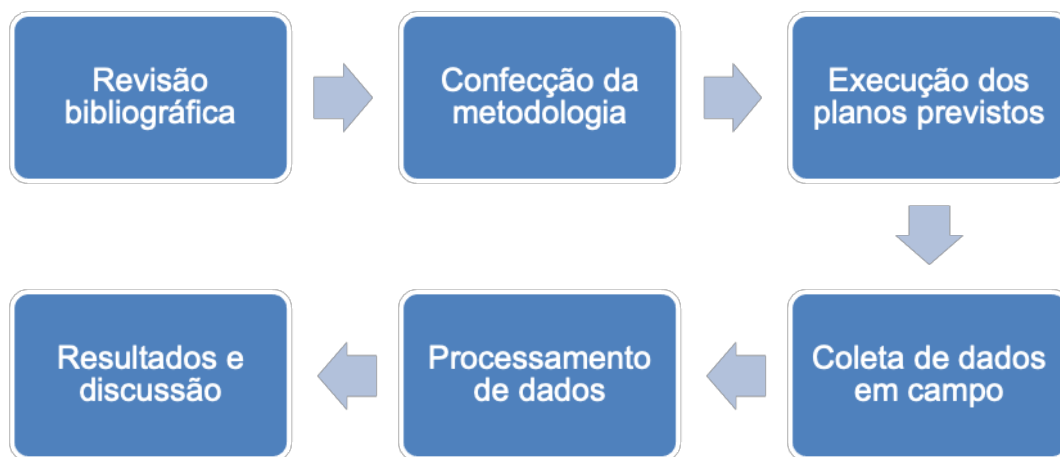
## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Sobre a metodologia utilizada neste trabalho e a definição sobre o método dedutivo pode-se afirmar que:

No método dedutivo, a pesquisa parte de princípios reconhecidos como verdadeiros, chamados de premissa maior, e estabelece relações com uma segunda premissa menor. Desta forma, a partir do raciocínio lógico, chega-se à verdade daquilo que se é proposto, a conclusão (LAKATOS; MARCONI, 2003).

Com isso, o fluxograma de trabalho foi executado na seguinte ordem: revisão bibliográfica, confecção da metodologia, execução dos planos previstos, coleta de dados em campo e processamento dos dados em programas de código aberto (figura 09).

**Figura 09 – Fluxograma de trabalho.**



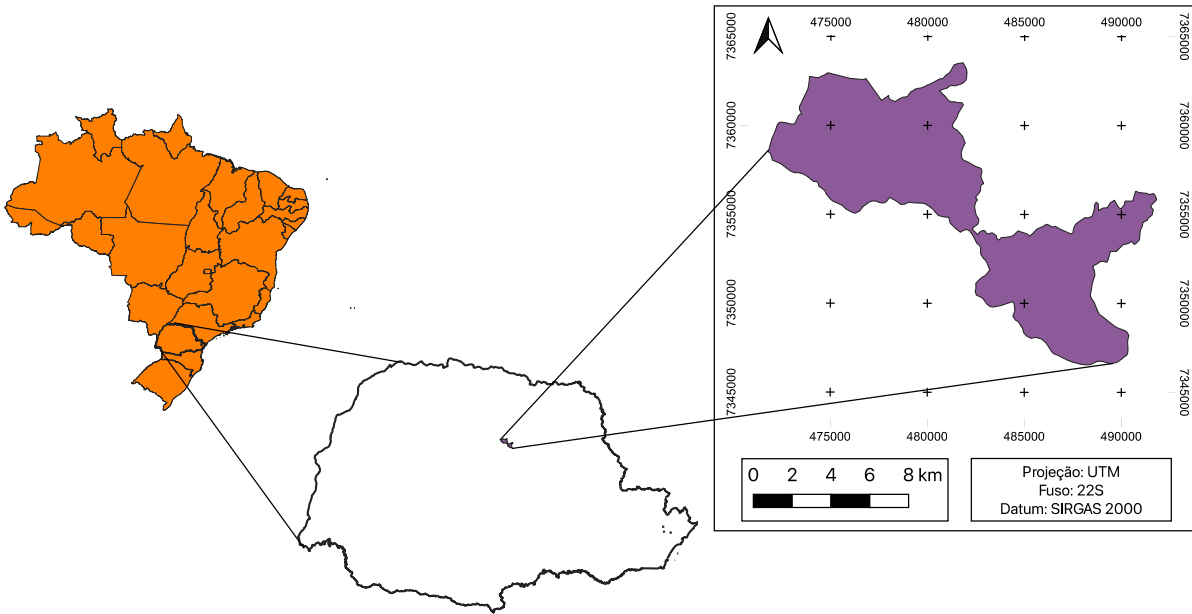
### 2.2.1 Área Experimental

A área de estudo é situada em uma propriedade rural no município de Mauá da Serra, estado de Paraná (Figura 08). A área experimental é de aproximadamente 80 hectares que no momento da coleta das imagens estava implantada com a cultura do milho (estádio fenológico V2, 2 folhas verdadeiras). Toda a condução da cultura, como a semeadura de milho e tratamentos culturais foram realizados pelo produtor durante a safra de verão 2020/2021.

A área experimental foi amostrada em 5 subáreas de 0,25 hectares (50 x 50 metros) aleatoriamente para contabilizar as diferenças espaciais dentro de cada

talhão (Figura 09), bem como para a randomização de possíveis plantas daninhas e palhadas de culturas anteriores.

**Figura 10 – Mapa de localização do município de Mauá da Serra, situado no estado do Paraná, Brasil.**



### 2.2.2 Plataforma, sensor, e dados de campo

Foi utilizado uma Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) modelo *Mavic Pro* (DJI, Shenzhen, China) para a captura dos dados de imagens aéreas digitais. O sistema para a coleta de dados consiste em um sistema composto por um controlador remoto de longa distância (2.4 GHz) e um veículo aéreo com 4 rotores.

O veículo aéreo por sua vez, possui um controlador que é conectado aos Sistemas de Navegação via Satélite composto por receptores destes sinais, que na sua grande maioria, são de sinais da constelação americana *Global Positioning System* (GPS) e o sistema russo *Glonass*, além dos sensores que mensuram as condições ambientais, possibilitando voos autônomos de alto grau de estabilidade.



**Figura 11 – Distribuição das 06 áreas na propriedade rural situada em Mauá da Serra, estado do Paraná. Fonte: Google Earth (2020).**



A coleta de imagens via RPA foi feita através de um voo autônomo em que primeiramente é realizado a conexão do controle remoto com o smartphone para que seja possível configurar todas as informações de voo através de um aplicativo de planejamento de voo. Para isso, o aplicativo *Drone Deploy* (São Francisco, Estados Unidos) foi escolhido. Os planos de voos no modo autônomo fazem com que seja possível uma padronização dos voos, produzindo linhas paralelas possibilitando a cobertura total da área com capacidade de capturar imagens de forma padronizada em cada área. Para simular as diferentes resoluções espaciais e diferentes alturas de voo, foram realizados voos de 10 metros de altura acima de solo, que resultam em resoluções espaciais médias por pixel de 3,3 mm, com posterior redução (fator 0.5) da resolução para 6,6 mm e 13,2 mm.

As imagens aéreas foram coletadas em ângulo nadiral, perpendicular à direção de voo da RPA, com um sensor RGB (*Red, Green, Blue*) com as seguintes características: 12 megapixels de resolução (4000 x 3000 *pixels*), CMOS de 1/2.3 polegadas, 30 frames por segundo, distância focal real de 5 mm, largura do sensor de 6,17 mm, acoplada a uma estrutura chamada gimbal permitindo o movimento e estabilização do sensor durante o voo nos três eixos (inclinação, rotação e giro).

A utilização e operação desta tecnologia exige um elevado grau de segurança, desde a decolagem, programação do voo até sua aterrissagem. Desta maneira, a RPA deve oferecer segurança em sua operação para não proporcionar riscos à situação de desastres, devendo operador (piloto remoto) estar capacitado e devidamente regulamentado nos órgãos responsáveis (Anatel, ANAC e DECEA). Todos os procedimentos seguiram as recentes legislações vigentes para o tipo de operação em linha de visada visual (VLOS) dentro da publicação do Instituto Cartográfico Aeronáutico (ICA-100/40), intitulados “sistemas de aeronaves remotamente pilotadas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro” do Ministério da Defesa do Brasil, comando da aeronáutica, responsáveis pelo tráfego aéreo.

### 2.2.3 Pré-processamento dos dados

Após a coleta das imagens, as fotos foram processadas no programa em código aberto *imageJ*. 2 etapas foram procedias neste programa: a primeira para realizar o corte apenas do centro da imagem, transformando a imagem original de 4000 por 3000 pixels para 615 por 600 pixels, em proporções iguais de altura e largura; o segundo procedimento foi a redução das imagens e redimensionamento para a redução da resolução espacial através do procedimento “*scale*”. Ambos os procedimentos foram feitos de forma automática através da função macro existente no programa.

O último procedimento no pré-processamento (e a contagem propriamente dita) foi feita através do *software* com a linguagem e ambiente R (*RStudio Team*, 2020) para computação estatística e gráfica. O pacote *FIELDimageR* (MATIAS; CARAZA - HARTER; ENDELMAN, 2020) foi utilizado para o pré-processamento das imagens e finalização na contagem de plantas nas imagens. A função *fieldCrop* foi

utilizada para selecionar a área de interesse. Para isso, foi feito um corte da área de interesse selecionando os quatro cantos da área na janela do *RStudio*.

Após a seleção da área de interesse, foi criada uma máscara para a remoção do solo. Para tanto, a função *fieldMask* foi utilizada para a classificação dos pixels de solo com base no índice “*overall hue index*” (HUE).

#### 2.2.4 Contagem de plantas

Dentro do mesmo pacote, *FIELDimageR* (MATIAS; CARAZA - HARTER; ENDELMAN, 2020), foi utilizada a função *fieldCount* para realizar a contagem automatizada das plantas de milho. O pacote *EBImage* (PAU et al., 2010) realiza a segmentação das imagens para distinguir entre si o plano de fundo e as plantas. Primeiramente, é aplicada uma transformação binária no campo de distância criada pelo *fieldMask*, gerando uma imagem em escala de cinza com a mínima distância entre os pixels de fundo.

Esta imagem em escala de cinza é interpretada como um mapa topográfico, e a transformação é feita nas diferentes “bacias hidrográficas” para identificar os limites destas bacias (SOILLE, 2013), na qual é interpretada como diferentes objetos, e no exemplo utilizado, plantas.

A validação dos dados foi implementada por meio da inspeção visual de cada planta na imagem coletada para fins de contagem do valor atual do número de plantas nas imagens.

#### 2.2.5 Avaliação da performance de classificação

Taxa de acertos: é o indicador percentual de avaliação com base na relação entre a contagem estimada ( $C_e$ ) e contagem atual ( $C_a$ ).

$$\text{Taxa de acertos} = (C_e/C_a) * 100$$

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de imagens pelo programa de código aberto e livre (R Studio) foi avaliado para a contagem de plantas de milho em condições de campo comercial de produção de grãos através do plugin *FIELDimageR* (MATIAS; CARAZA - HARTER; ENDELMAN, 2020). A avaliação da performance foi feita com base na taxa de acertos atrás da contagem de plantas, contagem do número de plantas estimadas e contagem do número de plantas visual.

226 imagens foram capturadas a partir da RPA em 05 planos de voos. Cada plano de voo produziu em média 52 imagens. Na primeira etapa do pré-processamento, uma filtragem foi realizada observando a qualidade das imagens. Além disso, como forma de identificar os diferentes planos de voo, o próprio aplicativo de automação de voo realiza uma captura de imagem antes de iniciar propriamente o plano de voo. Com isso, faz-se necessário a eliminação desta imagem no começo de cada plano, que contabiliza um número de 5 imagens, resultando em 221 imagens processadas em três etapas de processamento nas diferentes resoluções espaciais (0,33, 0,66 e 1,32 mm). O resultado das médias de cada resolução espacial está apresentado na tabela 01.

**Tabela 01. Média geral da taxa de acerto (%) no teste de redução em 2 e 4 vezes sobre a resolução da imagem original.**

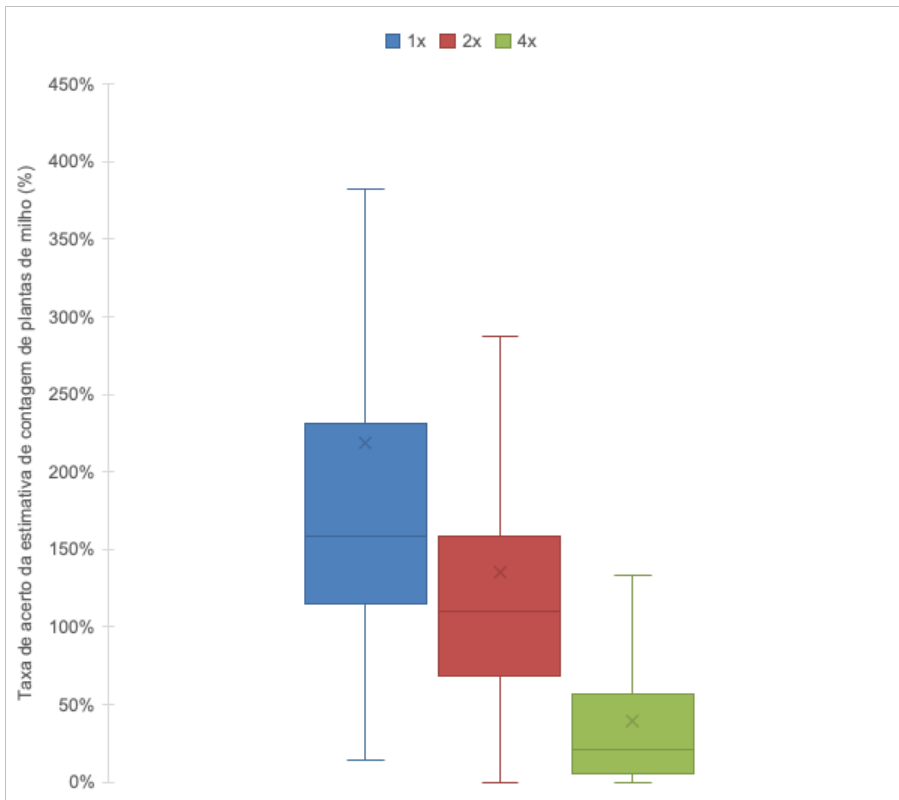
Resolução do pixel		
1x	2x	4x
219	135	39

Para o melhor entendimento sobre a distribuição dos dados em cada resolução espacial, um diagrama de caixa foi confeccionado (Figura 10). Através do diagrama, foi possível observar que os dados resultantes do processamento das imagens aéreas originais bem como na redução das mesmas, tiveram uma distribuição dispersa com valores que extrapolaram os limites máximos estipulados, que é calculado através da somatória do terceiro quartil e 1,5 vezes o interquartil (desconsiderados no gráfico para melhor visualização). Foram encontrados 8 pontos considerados como *outliers* no processamento das imagens originais e 6 pontos nas

imagens reduzidas em 2 e 4 vezes (n=221). Além disso, é possível observar que mais de 75% dos dados nas imagens originais estiveram acima do 100% da taxa de acerto, diferentemente aos resultados do processamento das imagens reduzidas em 4 vezes em que pouco menos de 100% dos dados estiveram abaixo de 100% da taxa de acerto, evidenciado ainda mais com a diferença entre os grupos através das posições das medianas fora das caixas.

É importante notar que ao redimensionar as imagens, diminuindo seu tamanho, há penalização no processo de binarização do índice Excess Green (ExG) e, conseqüentemente, na habilidade deste fluxograma em determinar a correta geometria da planta de milho. Além disso, o redimensionamento das imagens aumenta o tamanho do pixel do terreno (GSD), resultando em uma área maior a ser amostrada por cada unidade de pixel. Portanto, a detecção dos limites dos objetos verdes em relação ao solo se torna críticos principalmente na qualidade de identificação dos contornos dos objetos.

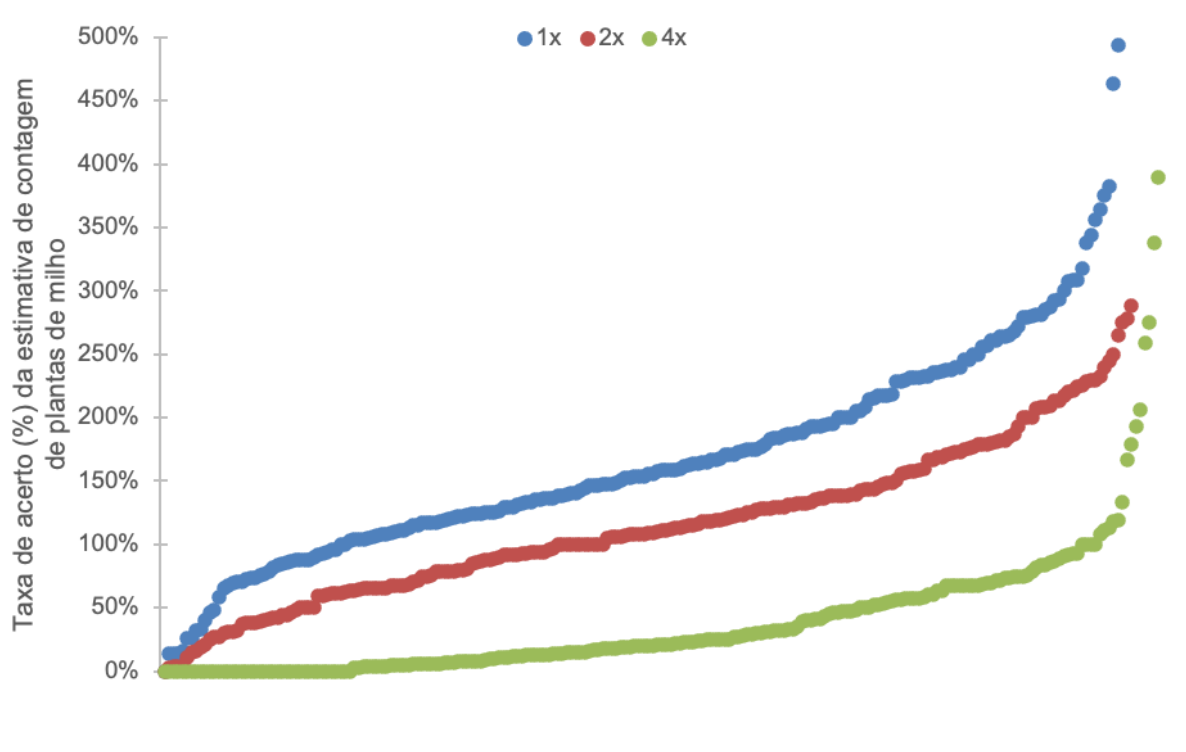
**Figura 12. Diagrama de barras da taxa de acerto da estimativa de contagem de plantas de milho em diferentes resoluções espaciais (original, 2 e 4 vezes reduzidas)**



Apesar do gráfico de diagramas demonstrar as informações de forma resumida, não é possível identificar os valores de cada ponto. Assim, um gráfico de dispersão foi confeccionado (Figura 11), possibilitando a visualização da taxa de acerto na estimativa de contagem de cada ponto em ordem crescente. É possível observar que as taxas de acerto foram proporcionais entre os 3 grupos. As taxas de acerto seguiram uma proporcionalidade. Altas taxas de acerto advindas do processamento da imagem original, proporcionaram altas taxas de acerto nos processamentos conseguintes. Porém, como visto no gráfico de diagramas, 75% dos dados foram superestimados, ou seja, realizaram uma contagem acima do

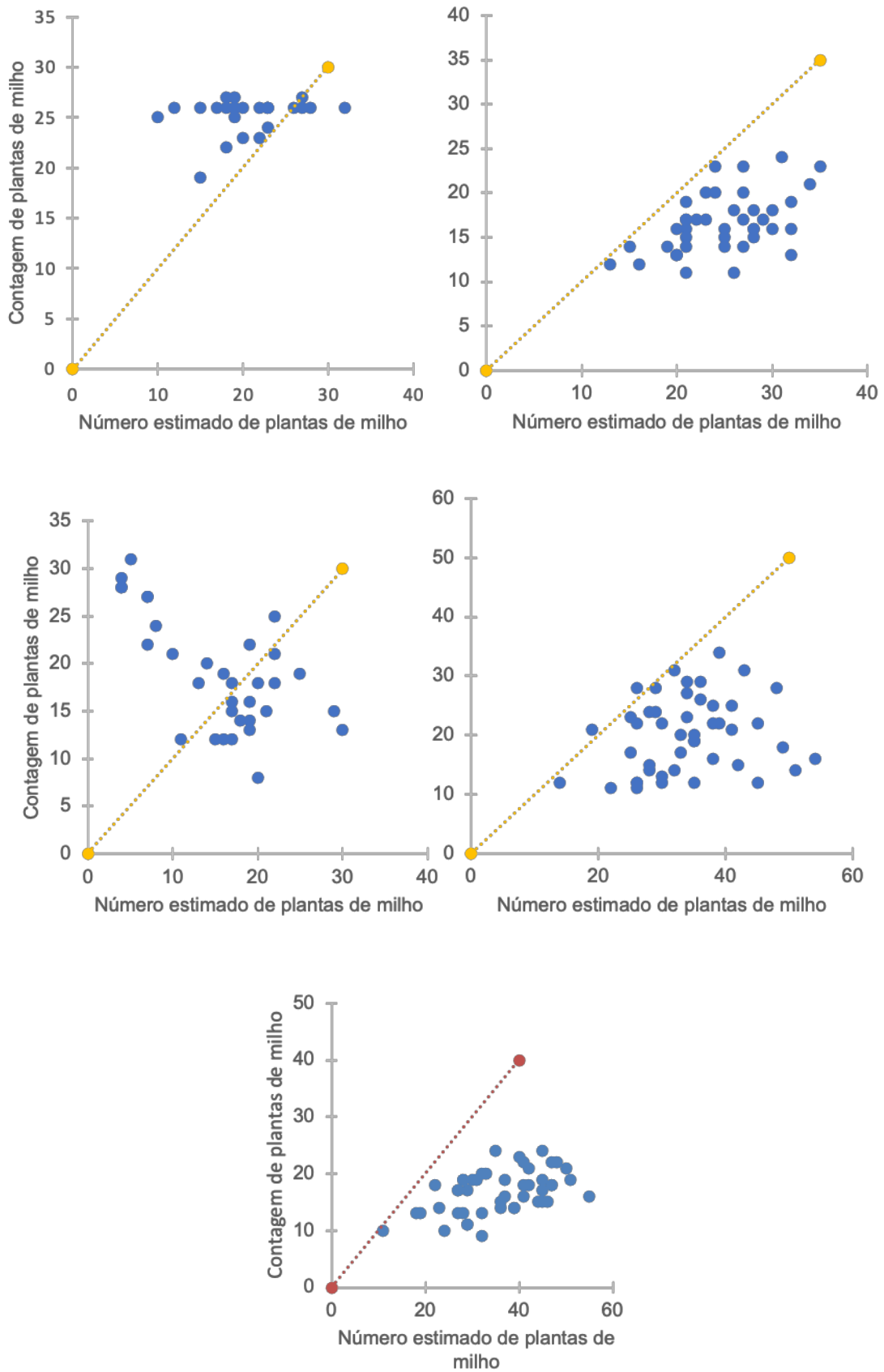
número real. Isto é possível de ser observado já no início do gráfico próximo ao eixo das variáveis independentes.

**Figura 13. Gráfico da taxa de acerto da estimativa de contagem de plantas de milho em diferentes resoluções espaciais (original, 2 e 4 vezes reduzidas)**



Por fim, foi confeccionado o gráfico de dispersão sobre os valores da estimativa de contagem de plantas de milho e o valor atual de contagem sobre a estimativa de contagem nas imagens originais (Figura 12). Neste gráfico pode-se observar o quão distantes os valores estimados estão dos valores atuais. Neste gráfico também é possível observar a dispersão já observada nas figuras anteriores, com o melhor entendimento das características de cada área a qual foi submetido a coleta das imagens. Todas as áreas resultaram em elevadas dispersões, porém na área 01, é possível observar a maior aproximação dos dados em relação a reta atual. Nas áreas 02, 04 e 05 os pontos abaixo da reta, mostram que as estimativas de contagem nas áreas foram superestimadas com diferenças, em média, de 61, 110 e 163%, respectivamente. Já para a área 01, a contagem através deste fluxograma de trabalho foi subestimada em média 18,5%.

**Figura 14. Gráfico de dispersão do número estimado de plantas e contagem de plantas de milho.**





Trabalhos atuais retratam o uso de veículos terrestres e imagens de satélite para estimar as condições das plantas em condições de campo. A primeira técnica é baseada em robôs que recobrem uma pequena área e dependem de um terreno acessível para o tráfego. A segunda forma de aquisição de dados, por outro lado, não atinge resolução passíveis para atingirem os níveis satisfatórios para este tipo de processamento e análise. Resultados satisfatórios foram obtidos pelo uso combinado de RPAs e contagem de plantas de milho em estágio vegetativo inicial através da classificação por árvore de decisão (VARELA et al., 2018). A proposta deste fluxograma de trabalho faz-se o uso dos avanços tecnológicos existentes, através dos equipamentos *of-the-shelf* capazes de se movimentarem sobre o espaço aéreo e capturar imagens de forma autônoma, combinados com programas de código aberto e livre para a identificação de plantas de milho em estágio vegetativo inicial, nas condições de campo comercial de produção de grãos.

Algumas limitações a partir desta pesquisa em campo podem ser observadas: (i) a coleta de dados em estágios vegetativos mais avançados podem diminuir a taxa de acerto deste fluxograma pela sobreposição de folhas entre as plantas das linhas, promovendo a subestimação do número de plantas; (ii) a densidade de plantas (plantas por hectare) não foi calculada pois não foi foco do artigo, além da necessidade de alta acurácia na posição da RPA, valores estes somente atingidos através do uso de receptores dos sistemas globais de navegação por satélite como o RTK (real time kinematic) ou PPK (post processed kinematic). Uma estratégia para entregar maiores informações sobre a área, com maior eficácia, e rápidos modelos é através da coleta de dados por sub-amostragem e análise espacial. Este é um grande potencial para os grandes custos computacionais necessários para o processamento, além da diminuição da resolução das imagens quando passam pelo processo de mosaicagem de imagens.

A principal contribuição deste artigo está direcionada ao desenvolvimento de um procedimento para a gestão das operações realizadas na cultura do milho em estágio inicial pelos produtores rurais. O artigo está fundado em uma metodologia que associa as imagens tradicionais e o processamento de imagens em programa de código aberto e livre. O resultado deste fluxograma de trabalho possibilita a contagem de forma digitalizada de plantas de milho com o uso de RPAs de pequeno porte e sensores RGB contribuindo na otimização de coleta de dados em fases iniciais da cultura do milho.

Trabalhos futuros devem abordar: (a) câmeras com sensores capazes de produzir uma resolução maior (b) possíveis influências do vento na qualidade das imagens coletadas e nas possíveis diferenças na contagem e classificação (c) explorar o potencial das diversas opções de remoção de solo, a partir de outros índices.

## 2.4 CONCLUSÃO

Um fluxograma de trabalho para identificar as plantas de milho em condições de campo comercial foi avaliado. A metodologia utilizada foi através da coleta de imagens aéreas na detecção da geometria da vegetação existente na área com posterior processamento para a identificação das características vegetais. A proposta utilizada neste artigo foi a de implementar e testar o fluxograma através do uso de dados coletados a partir de uma Aeronave Remotamente Pilotada de pequeno porte em uma fazenda de produção de grãos com potenciais para o escalonamento no uso das operações em condição à campo. Apesar do fluxograma se apresentar capaz de reproduzir as análises propostas, com a taxa de acerto variando entre 39% e 219%, a necessidade de um melhor ajuste no processamento ainda se faz importante. A imagem original com resolução de 0,66 mm na identificação e contagem de plantas de milho obteve a melhor taxa de acerto (135%), ou seja, 35% a mais da contagem esperada. Ao passo em que a redução da imagem em 4x afetou negativamente a taxa de acerto devido a basicamente duas características: (i) baixa sensibilidade a identificação dos contornos verdes das plantas e (ii) diminuição da capacidade do modelo topográfico utilizada na identificação da geometria do objeto analisado. Os resultados indicam que a fase ideal para a coleta das imagens na estimativa de contagem de plantas é entre 2 e 3 folhas.

## 2.5 REFERÊNCIAS

ANDERSON, M.; VITTETOE, R.; RIECK-HINZ, A.; LICHT, M. Stand Assessments - Corn. In: **Integrated Crop Management**. Iowa State University: Extension and Outreach, [s.d.].

BAXES, G. A. **Digital Image Processing: Principles and Applications**. New York: John Wiley and Sons, 1994.

BENDIG, J.; WILLKOMM, M.; TILLY, N.; GNYP, M. L.; BENNERTZ, S.; LENZ-WIEDEMANN, V. I. S.; BARETH, G.; MIAO, Y.; CAO, Q. Very high resolution Crop Surface Models (CSM) from UAV-based stereo images for rice growth monitoring in Northeast China. **gis.Science - Die Zeitschrift fur Geoinformatik**, [s. l.], v. XL, n. 1, p. 1–9, 2015.

BOLFE, Édson Luis; JORGE, Lúcio André de Castro; SANCHES, Ieda Del'arco; LUCHIARI JÚNIOR, Arioaldo; COSTA, Cinthia Cabral da; VICTORIA, Daniel de Castro; INAMASU, Ricardo Yassushi; GREGO, Célia Regina; FERREIRA, Victor Rodrigues; RAMIREZ, Andrea Restrepo. Precision and Digital Agriculture: adoption of technologies and perception of brazilian farmers. **Agriculture**, [S.L.], v. 10, n. 12, p. 653, 21 dez. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture10120653>.

CIAMPITTI, I. A.; VYN, T. J. A comprehensive study of plant density consequences on nitrogen uptake dynamics of maize plants from vegetative to reproductive stages. **Field Crops Research**, [s. l.], v. 121, n. 1, p. 2–18, 2011. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378429010002649>>

CLEVERS, J. G. P. W.; KOOISTRA, L. Using Hyperspectral Remote Sensing Data for Retrieving Canopy Chlorophyll and Nitrogen Content The potential of plant-soil feedback View project Using Hyperspectral Remote Sensing Data for Retrieving Canopy Chlorophyll and Nitrogen Content. **Article in IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 574–583, 2012. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org>>

DE FARIA, I. K. P.; VIEIRA, J. L. V.; TENELLI, S.; DE ALMEIDA, R. E. M.; CAMPOS, L. J. M.; DA COSTA, R. V.; ZAVASCHI, E.; DE ALMEIDA, R. F.; CARNEIRO, L. de M. e. S.; OTTO, R. Optimal plant density and nitrogen rates for improving off-season corn yields in Brazil. **Scientia Agricola**, [s. l.], v. 76, n. 4, p. 344–352, 2019.

DE SOUZA, C. H. W.; LAMPARELLI, R. A. C.; ROCHA, J. V.; MAGALHÃES, P. S. G. Height estimation of sugarcane using an unmanned aerial system (UAS) based on structure from motion (SfM) point clouds. **International Journal of Remote Sensing**, [s. l.], v. 38, n. 8–10, p. 2218–2230, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2017.1285082>>

FAOSTAT. **Data base: Cropland, Area, World, 2018**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/RL/visualize>>.

FAOSTAT. **Data base: Production, Countries by Commodities, 2018**. Disponível em: <[http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries\\_by\\_commodity](http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity)>.

FILHO, R. S.; DA CUNHA, J. P. A. R. Agricultura de precisão: Particularidades de sua adoção no sudoeste de goiás - Brasil. **Engenharia Agrícola**, [s. l.], v. 35, n. 4, p. 689–698, 2015.

GNÄDINGER, F.; SCHMIDHALTER, U. Digital counts of maize plants by Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). **Remote Sensing**, [s. l.], v. 9, n. 6, 2017.

GÓMEZ-CANDÓN, D.; VIRLET, N.; LABBÉ, S.; JOLIVOT, A.; REGNARD, J. L. Field phenotyping of water stress at tree scale by UAV-sensed imagery: new insights for thermal acquisition and calibration. **Precision Agriculture**, [s. l.], v. 17, n. 6, p. 786–800, 2016.

HUNT, E. R.; DEAN HIVELEY, W.; FUJIKAWA, S. J.; LINDEN, D. S.; DAUGHTRY, C. S. T.; MCCARTY, G. W. Acquisition of NIR-green-blue digital photographs from unmanned aircraft for crop monitoring. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 290–305, 2010.

JORGE, L. A. C.; BRANDÃO, Z. N.; INAMASU, R. Y. Insights and recommendations of use of UAV platforms in precision agriculture in Brazil. **Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XVI**, [s. l.], v. 9239, n. 2004, p. 923911, 2014.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. Fundamentos de metodologia científica. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MADSEN, S. L.; LARSEN, M. S.; POULSEN, R. N.; JØRGENSEN, R. N. RoboWeedSupport - Semi-automated UAS system for cost efficient high resolution in sub-millimeter scale acquisition of weed images. **ECPA 2017 - 11th European Conference on Precision Agriculture**, [s. l.], v. 11, n. 4, p. 835–839, 2017.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2019. **Projeções de Longo Prazo**. [s.l: s.n.]. Disponível em:  
<<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2018-2019-2028-2029/view>>

MATHEWS, A. J.; JENSEN, J. L. R. Visualizing and quantifying vineyard canopy LAI using an unmanned aerial vehicle (UAV) collected high density structure from motion point cloud. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 5, n. 5, p. 2164–2183, 2013.

MATIAS, F. I.; CARAZA-HARTER, M. V.; ENDELMAN, J. B. FIELDimageR: An R package to analyze orthomosaic images from agricultural field trials. **The Plant Phenome Journal**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 1–6, 2020.

NIELSEN, Robert. Stand Establishment Variability in Corn. **Proceedings Of The 2006 Indiana Cca Conference**. Indianapolis, p. 1-10. dez. 2006.

PAU, G.; FUCHS, F.; SKLYAR, O.; BOUTROS, M.; HUBER, W. EBImage-an R package for image processing with applications to cellular phenotypes. **Bioinformatics**, [s. l.], v. 26, n. 7, p. 979–981, 2010.

PEÑA, J. M.; TORRES-SÁNCHEZ, J.; DE CASTRO, A. I.; KELLY, M.; LÓPEZ-GRANADOS, F. Weed Mapping in Early-Season Maize Fields Using Object-Based Analysis of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Images. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 8, n. 10, p. 1–11, 2013.

PÖLÖNEN, I.; SAARI, H.; KAIVOSOJA, J.; HONKAVAARA, E.; PESONEN, L. Hyperspectral imaging based biomass and nitrogen content estimations from light-weight UAV. **Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XV**, [s. l.], v. 8887, p. 88870J, 2013.

RODRIGUES, B. T.; RODRIGUES, M. T.; CAMPOS, S.; CAMPOS, M.; TARUMOTO, M. B. Possibilidades e métodos de utilização no uso de DRONES/VANTS na agricultura. In: PUTTI, F. F.; SILVA, A. L. C.; GABRIEL FILHO, L. R. A. (Org.). **Tecnologias em agricultura sustentável**. Tupã: Associação Amigos da Natureza da Alta Paulista, 2017. p. 249-269.

SALAMÍ, E.; BARRADO, C.; PASTOR, E. UAV flight experiments applied to the remote sensing of vegetated areas. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 6, n. 11, p. 11051–11081, 2014.

SANGOI, L.; SCHMITT, A.; VIEIRA, J.; PICOLI JÚNIOR, G. J.; SOUZA, C. A.; CASA, R. T.; SCHENATTO, D. E.; GIORDANI, W.; BONIATTI, C. M.; MACHADO, G. C.; HORN, D. Variabilidade na Distribuição Espacial de Plantas na Linha e Rendimento de Grãos de Milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [s. l.], v. 11, n. 3, p. 268–277, 2012.

VARELA, Sebastian; DHODDA, Pruthvidhar; HSU, William; PRASAD, P. V.; ASSEFA, Yared; PERALTA, Nahuel; GRIFFIN, Terry; SHARDA, Ajay; FERGUSON, Allison; CIAMPITTI, Ignacio. Early-Season Stand Count Determination in Corn via Integration of Imagery from Unmanned Aerial Systems (UAS) and Supervised Learning Techniques. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 10, n. 3, p. 343, 23 fev. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs10020343>.

SILVA, P. R. A.; TAVARES, L. A. F.; SOUSA, S. F. G. De; CORREIA, T. P. S.; RIQUETTI, N. B. Rentabilidade na semeadura cruzada da cultura da soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s. l.], v. 19, n. 3, p. 293–297, 2015.

SOILLE, P. **Morphological Image Analysis: Principles and Applications**. Second Edi ed. Berlim: Springer-Verlag, 2013. v. 20

THORP, K. R.; STEWARD, B. L.; KALEITA, A. L.; BATCHELOR, W. D. Using aerial hyperspectral remote sensing imagery to estimate corn plant stand density. **Transactions of the ASABE**, [s. l.], v. 51, n. 1, p. 311–320, 2008.

TORRES-SÁNCHEZ, J.; PEÑA, J. M.; DE CASTRO, A. I.; LÓPEZ-GRANADOS, F. Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s. l.], v. 103, p. 104–113, 2014.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

No capítulo 01, uma análise bibliométrica relacionando os assuntos Aeronave Remotamente Pilotada, agricultura e validação foi avaliado. Uma grande expansão da pesquisa foi observada nos últimos 26 anos, com crescimento exponencial principalmente nos últimos 5 anos, com crescimento de 117% e 39% entre os anos de 2015/2016 e 2019/2020, respectivamente. Além disso, foi possível encontrar as principais instituições de pesquisa no assunto, assim como os principais países e palavras chaves representado pelo grau de conexão entre eles nos seus respectivos grupos. Esta pesquisa foi baseada totalmente no banco de dados da plataforma Scopus, sendo esta uma limitação da pesquisa.

No capítulo 02, um fluxograma de trabalho que combina o uso de ferramenta de sensoriamento remoto na captura de imagens convencionais em RGB com o processamento em programa de código aberto e livre foi proposto e avaliado para uma solução que é realizada manualmente por uma forma digitalizada e automatizada. Condições experimentais à nível de campo comercial foram utilizados para simular a real condição da lavoura. A implementação deste estudo evidenciou potenciais capacidades de processamento de maiores volumes de dados. De maneira geral, a taxa de acerto depende diretamente da resolução espacial das imagens processadas, característica essa que está diretamente conectada à altura de voo e/ou topografia do terreno, obtendo as melhores taxas de acerto na altura média de voo de 20 metros. O redimensionamento da resolução espacial afeta gradualmente os resultados devido à sensibilidade da detecção dos pixels em relação ao solo com conseqüente redução na identificação das plantas de milho.





## REFERÊNCIAS

ALVAREZ, R., STEINBACH, H.S. **A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas.** Soil Till. Res. 104, 1–15, 2009.

OECD/FAO – Organization for Economic Cooperation and Development and Food and Agriculture Organization of the United Nations (2019). **OECD-FAO Agricultural Outlook 2009-2018.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i3818e.pdf>>. Acesso em: 10 de Jun.2020.

ONU – Organização das Nações Unidas (2019). **World Population Prospects.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12283219>>. Acesso em: 13 de Jun.2020.

ONU, Organização das Nações Unidas (2015). **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.** [s.l: s.n.]. Acesso em: 15 de Jun.2020.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2017). **Information and Communication Technology ( ICT ) in Agriculture: A Report to the G20 Agricultural Deputies.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i7961e.pdf>>. Acesso em: 09 de Jun.2020.

USAID – Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento (2018). **Digital farmer profile: Reimagining Smallholder Agriculture.** Disponível em: <<http://www.fao.org/e-agriculture/news/digital-farmer-profiles-reimagining-smallholder-agriculture>>. Acesso em: 15 de Jun.2020.