

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

PEDRO HENRIQUE ALVES MARTINS

**USO DE SENSOR MULTIESPECTRAL PARA ESTIMATIVA DA TAXA DE
APLICAÇÃO NA PULVERIZAÇÃO AGRÍCOLA DA CULTURA DO ALGODOEIRO**

CHAPADÃO DO SUL – MS
2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

PEDRO HENRIQUE ALVES MARTINS

**USO DE SENSOR MULTIESPECTRAL PARA ESTIMATIVA DA TAXA DE
APLICAÇÃO NA PULVERIZAÇÃO AGRÍCOLA DA CULTURA DO ALGODOEIRO**

Orientador: Prof. Dr. Fábio Henrique Rojo Baio

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Mato Grosso
do Sul, para obtenção do título de
Mestre em Agronomia, área de
concentração: Produção Vegetal.



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Câmpus de Chapadão do Sul



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

DISCENTE: Pedro Henrique Alves Martins

ORIENTADOR (A): Prof. (a) Dr. (a) Fábio Henrique Rojo Baio

**Uso de sensor multiespectral para estimativa da taxa de aplicação na
pulverização agrícola da cultura do algodoeiro**

Prof.(a) Dr.(a) Presidente Fábio Henrique Rojo Baio

Prof.(a) Dr.(a) Cassiano Garcia Roque

Prof.(a) Dr.(a) Luis Gustavo Amorim Pessoa

Chapadão do Sul, 04 de Julho de 2019.

À minha esposa Francielle de Rezende Rocha, aos meus pais, Milton Alves Martins e Antonia Alves Ferreira Martins, à minha irmã Míriam Alves Martins, à minha avó Maria Alves da Silva, à minha tia Paula Maria Santana Teixeira, aos meus tios José Alves Ferreira, José Antônio da Silva, Milda Alves Magalhães, Rui Alves Martins, ao meu avô José Martins da Silva e a todos os meus familiares e amigos, que foram mais que, foram pessoas fascinantes e que estão ou passaram na minha vida para ensinar o seu verdadeiro sentido (CURY, 2003).

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me possibilitar que tudo acontecesse na minha vida de forma correta, me dando força para superar todos os obstáculos encontrados. Sou grato também a toda minha família por de alguma forma ter contribuído pelas minhas conquistas. Um agradecimento especial à minha esposa Francielle de Rezende Rocha, aos meus pais Milton Alves Martins e Antonia Alves Ferreira Martins, à minha irmã Míriam Alves Martins, à minha tia e madrinha Paula Maria Teixeira Santana e à minha vó Maria Alves da Silva. Gostaria de agradecer a todos os meus familiares, tios, primos e todas as pessoas que moram no meu coração, que com certeza tiveram uma grande parcela desta conquista.

Obrigado ao professor Dr. Fábio Henrique Rojo Baio por me orientar durante esse período tão importante da minha vida, em que estive à frente do mestrado e por me ensinar a essência entre a vida pessoal e a profissional. Aos professores Dr. Cassiano Garcia Roque, ao professor Dr. Luís Gustavo Amorim Pessoa e ao professor Dr. Paulo Eduardo Teodoro.

Não poderia deixar agradecer a UFMS/CPCS, que ainda pode não ser a maior Universidade do país, mas para mim é uma das melhores, pois foi ela que me ensinou a olhar a vida com outros olhos, com olhos de uma pessoa apaixonada...apaixonada pelo que? Pela vida. Aos meus amigos e servidores Sinomar Moreira de Andrade e Halisson Cesar Vinci Carlos e todos que contribuíram diretamente e indiretamente para a realização deste experimento.

Gostaria de finalizar meus agradecimentos a três pessoas muito especiais para mim, que infelizmente não estão mais entre nós: José Martins da Silva, Jamal Rassi e Maria Aparecida Rassi.

EPÍGRAFE

Oh! Quão bom e quão suave é que os irmãos vivam em união.

É como o óleo precioso sobre a cabeça, que desce sobre a barba de Arão, que desce sobre a orla de seus vestidos.

É como o orvalho do Hermon, que desce sobre os montes de Sião, onde o Senhor ordena a benção e a vida para sempre.

Salmos 133:1-3

RESUMO

MARTINS, Pedro Henrique Alves. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. USO DE SENSOR MULTIESPECTRAL PARA ESTIMATIVA DA TAXA DE APLICAÇÃO NA PULVERIZAÇÃO AGRÍCOLA DA CULTURA DO ALGODÃO.

Professor Orientador: Prof. Dr. Fábio Henrique Rojo Baio

No Brasil, a cultura do algodão tem uma exploração agrícola representativa, não só por seu valor econômico de produção, mas também porque existe grandes áreas de cultivo. Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma equação que possa indicar a taxa de aplicação adequada segundo a informação de um índice de vegetação (IV) e de uma deposição relativa esperada para a cultura do algodoeiro. A deposição de calda no terço médio na planta de algodão possui um aumento do IV e existe a necessidade de um aumento da taxa de aplicação para a manutenção da deposição de cada no estrato médio da planta. A tendência dos resultados é uma redução do volume de calda, a fim de diminuir os custos de produção para que possa aumentar a capacidade operacional das aplicações. Existe a tendência de que com o aumento dos índices de vegetação há necessidade de elevação da taxa de aplicação para a manutenção da deposição de calda no estrato médio das plantas do algodoeiro. É importante do tamanho das gotículas em aplicações, que é diretamente influenciada pela velocidade do ar, orientação do bico, tipo e tamanho do bocal, pressão, e propriedades físico-químicas da solução de pulverização. A velocidade aerodinâmica é considerada o principal fator que influencia o tamanho das gotas em aplicações aéreas devido ao efeito de cisalhamento pulverização do processo de atomização. A agricultura de precisão vem desenvolvendo corretas tecnologias de pulverização que proporcionam uma ideal aplicação na cultura e economia de produtos. A pesquisa vem reforçar a importância das escolhas certas das variáveis e suplementando a notoriedade dos Índices de Vegetação (IV), para que seja possível obter uma equação ideal de deposição.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura de precisão. *Gossypium hirsutum*. Aplicação

ABSTRACT

MARTINS, Pedro Henrique Alves. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. USE OF A MULTISPECTRAL SENSOR TO ESTIMATE THE RATE OF APPLICATION IN COTTON CROP SPRAYING.

Adviser: Prof. Dr. Fábio Henrique Rojo Baio

In Brazil, the cotton crop has a representative agricultural holding, not only because of its economic value of production, but also because there are large areas of cultivation. The objective of this work is to develop an equation that can indicate the adequate rate of application according to the information of a vegetation index (IV) and an expected relative deposition for the cotton crop. The deposition of syrup in the middle third in the cotton plant has an increase of the IV and there is a need for an increase in the rate of application for the maintenance of the deposition of each in the middle stratum of the plant. The trend of the results is a reduction of the volume of the syrup in order to reduce the costs of production so that it can increase the operational capacity of the applications. There is a tendency that with the increase of the vegetation indices there is a need to increase the rate of application for the maintenance of the deposition of syrup in the middle stratum of the cotton plants. It is important for droplet size in applications, which is directly influenced by air velocity, nozzle orientation, nozzle size and type, pressure, and physico-chemical properties of the spray solution. Aerodynamic velocity is considered to be the main factor influencing droplet size in aerial applications due to the shear effect of spraying the atomization process. Precision farming has been developing correct spraying technologies that provide an ideal application in crop and product economics. The research reinforces the importance of the right choices of variables and supplements the notoriety of the Vegetation Indexes (IV), in order to obtain an ideal deposition equation.

KEY WORDS: precision agriculture. *gossypium hirsutum*. application

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	1
RESUMO.....	3
ABSTRACT.....	4
1 INTRODUÇÃO.....	6
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	7
2.1 O Algodão no Brasil.....	7
2.2 Tecnologia de aplicação.....	7
2.3 Agricultura de precisão.....	11
2.4 Sensoriamento remoto.....	13
2.4 Índice de vegetação.....	14
REFERÊNCIAS.....	16
CAPÍTULO 1 - USO DE SENSOR MULTIESPECTRAL PARA ESTIMATIVA DA TAXA DE APLICAÇÃO NA PULVERIZAÇÃO AGRÍCOLA DA CULTURA DO ALGODOEIRO.....	21
INTRODUÇÃO	22
MATERIAL E MÉTODOS.....	23
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
CONCLUSÕES	35
REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

A cultura do algodão representa um alto grau de importância nacional e internacionalmente. Nas últimas safras verificou-se um aumento expressivo da área plantada e da produção brasileira de algodão. A cultura do algodoeiro é cultivada há bastante tempo no Brasil, na qual da planta de algodão são aproveitados a semente e a fibra, sendo que a fibra é utilizada para produtos têxtil e da semente é extraído óleo, o qual tem como subproduto a torta de filtro utilizada principalmente na alimentação animal (YU et al., 2016).

O Brasil é o sexto maior produtor mundial de algodão, sendo a Índia e EUA os maiores produtores (ABRAPA, 2019). A região Centro-Oeste é a região com maior produção de pluma e área plantada na safra 2017/18, com destaque para o Estado de Mato Grosso.

Os produtos agrícolas do algodoeiro vêm apresentando bons preços, aumentando o interesse pela cultura. Mas, há vários problemas que podem ocorrer ao longo da cultura e reduzir a produção algodoeira. Um problema é o número de aplicações de agrotóxicos durante o ciclo da cultura, que além de dificultar a mão de obra, aumenta muito os custos de produção e podem dificultar o extermínio de pragas como por exemplo o “Bicudo” (RIBEIRO et al., 2015).

Na aplicação está uma boa porcentagem da eficiência em relação a tecnologia de aplicação de produtos agrícolas, que muitas vezes o seu equipamento é mal regulado, ou até mesmo as condições não são ideais para aplicação, como clima, ponta, velocidade de aplicação por exemplo. O Estágio da cultura também é muito importante, pois a quantidade de produto varia com o índice de vegetação da cultura.

Novas tecnologias vêm sendo utilizadas no auxílio do cultivo do algodão, o uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), que podem auxiliar tanto na parte da aplicação, como nas outras etapas da lavoura.

Com relação a aplicação, existe hoje no mercado uma gama de pontas disponíveis, que podem auxiliar no momento da pulverização, essas pontas, de acordo com o modelo e fabricante, possuem determinada vazão, levando em consideração a pressão aplicada.

Para aumentar a eficiência em uma pulverização é comum o uso de óleos (vegetais e minerais) e espalhadores de adesivo, visando aumentar ou manter a eficiência dos sprays. Esse procedimento tem reduzindo a tensão superficial, aumentando o espalhamento foliar e a penetração foliar. Além disso, podem ser usados para minimizar os efeitos da chuva sobre a deposição da proteção fitossanitária do produto (MADUREIRA et al., 2015).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O Algodão no Brasil

A cultura do algodão (*Gossypium hirsutum*), pertencente à família Malvaceae, atualmente é uma das culturas de maior importância economicamente no setor agropecuário brasileiro, devido a diversidade encontrada para os seus produtos e subprodutos na indústria. O expressivo aumento de área (25,2%) aliado ao ganho de produtividade de 2,2%, resulta numa produção de 1,96 milhão de toneladas de pluma. Para a atual safra, destaca-se a estimativa de aumento da produção de algodão em pluma, estimada em 1,9 milhões de toneladas de pluma, representando aumento de 28,1% em relação à safra passada. (CONAB, 2018).

O Brasil é o quinto maior produtor de algodão, e cuja produção atende principalmente à demanda por fibras da indústria têxtil interna e dos países asiáticos. A trajetória da cotonicultura nacional, que passou por diversas dificuldades nas décadas de 1980 e 1990, mas superou a crise e consolidou um modelo empresarial de produção nos anos 2000, demonstra que o atual estágio produtivo e qualitativo do algodão brasileiro foi conquistado devido à pesquisa e ao desenvolvimento de material vegetal adaptado às condições edafoclimáticas das atuais regiões produtoras, além do desenvolvimento de germoplasmas de qualidade com as características técnicas da fibra, exigidas pela indústria têxtil (TELES & FUCK, 2016).

O Algodão é considerado uma das mais importantes culturas e também a planta de aproveitamento mais completo que oferece os mais variados produtos de utilidade. O produto colhido é denominado algodão em caroço, contendo a semente e a pluma (fibra). Sua utilização concentra-se na indústria de fiação e de tecelagem, como na indústria de alimentação animal (farelo) e humana (óleo), além de grande número de produtos secundários (XAVIER et al., 2018).

2.2 Tecnologia de aplicação

Os métodos de aplicação em calda podem atuar na eficiência da deposição das gotas pulverizadas (BAIO et al., 2017). A Agricultura de Precisão (AP) envolve três elementos críticos: coleta de informações, aplicação de tecnologia e gestão. Investir em sensores, GPS e mapeamento só aumentam o custo de produção se nada é feito com as informações detalhadas obtidas no campo. Os métodos utilizados na AP são sistemas de gerenciamento baseado na variabilidade espacial dos fatores inerentes as produtividades obtidas nas áreas, visando otimizar o lucro, a sustentabilidade e a proteção ao meio ambiente. Este

sistema utiliza estratégias para resolver os problemas de variabilidade de culturas, aproveitando variações quando possível (PINHEIRO, 2016).

O uso do sensoriamento remoto ajuda a mapear a variabilidade espacial das espécies no campo e estende-se a uma série de aplicações direcionadas à agricultura. Silva et al. (2014) citam que o uso de Sensores multiespectrais para determinar índices de vegetação mostram um foco na caracterização espectral solos e plantas, bem como a estimativa da produtividade das culturas. Amaral et al. (2015) defendem a uso de sensores ópticos ativos na otimização, como ferramenta para auxiliar no diagnóstico e recomendação de aplicação e fertilização desses elementos.

Existem vários tipos de sensores multiespectrais voltados para a aplicação de insumos em taxas, também chamadas de aplicações de tecnologia de taxa variável (VRT). O sensor multiespectral do sensor N, desenvolvido pela Yara International (Duelmen, Alemanha) é um exemplo e tem dois receptores fotodiodo que determinam o índice de vegetação, baseado na razão de refletância das ondas espectrais do alvo no comprimento do espectro eletromagnético de 730 e 760 nm. Segundo Raper & Varco (2015), esse índice é chamado o índice de vegetação de borda vermelha e é obtido pela relação de subtração matemática do logaritmo natural da refletância nessas bandas do espectro, multiplicado por cem.

A deriva de pesticidas é um problema na agricultura moderna, principalmente para culturas do algodão que é necessário um elevado número de aplicações (SUAREZ et al., 2016). Deriva na pulverização agrícola, é a perda do produto através do vento, do diâmetro médio das gotas, do volume pulverizado, da viscosidade, densidade e tensão superficial (OLIVEIRA et al., 2015). Outra definição de deriva é: parte de uma aplicação de pesticida que é desviada da área alvo pela ação do vento (ANTUNIASSI et al., 2002).

A distribuição da dimensão das gotas é diretamente influenciada pela velocidade do vento, orientação do bico, tipo e vazão da ponta, pressão, e propriedades físico-químicas da solução de pulverização (MACIEL et al., 2017). Em estudo desenvolvido, Vieira et al. (2018), afirmam que a deriva de pulverização é diretamente influenciada além condições climáticas, pelo ambiente circundante e propriedades físico-químicas.

É comum o uso de adjuvantes, principalmente óleos (vegetais e minerais) e espalhadores de adesivo, visando aumentar ou manter a eficiência da deposição. Uma quantidade de adjuvantes agem reduzindo a tensão superficial e aumento do espalhamento foliar e da penetração foliar. Além disso, os adjuvantes podem ser usados para minimizar os efeitos da chuva sobre a deposição da proteção fitossanitária do produto, aumentando a eficiência do produto e minimizando as perdas (SANCHES et al., 2018).

A escolha correta dos adjuvantes pode ser uma das principais práticas adotadas para minimizar os impactos negativos da deriva da pulverização, além de permitir maior segurança e eficácia em aplicações em condições e ambientes operacionais menos favoráveis. No entanto, nem sempre os adjuvantes "à prova de deriva" disponíveis para o mercado brasileiro cumprem a função especificada pelo fabricante e, portanto, estudos independentes devem ser realizados para comprovar sua eficácia na redução da deriva (OLIVEIRA et al., 2013).

Para avaliar as perdas, seja por deriva, ou qualquer outro tipo de perda, é necessário tomar algumas atitudes. A primeira pode ser determinada pela proporção do alvo e da área coberta, com a mistura da pulverização. A segunda é medida pela quantidade dos ingredientes ativos ou marcadores presentes na superfície de plantas alvo. A Cobertura e a deposição aumentam com o volume até o ponto de escoamento. Superior a esse ponto, aumentar a taxa de aplicação resulta perdas de produtos químicos e água. Por outro lado, pulverização em volumes abaixo do ponto de escoamento pode reduzir a cobertura e a deposição do pesticida e não afeta necessariamente a eficácia da doença controle (SILVA JUNIOR et al., 2016).

Existe interações sobre os depósitos foliares formados no estrato inferior da cultura do algodoeiro pelas variações das taxas de aplicações, período da aplicação (variação de velocidade do vento e umidade relativa do ar) e do uso de adjuvante óleo vegetal. Algumas regras devem ser seguidas para uma boa aplicação. Para ser levado em consideração essas orientações, deve-se observar os depósitos foliares do traçador no estrato inferior do algodoeiro, que apresenta um aumento na taxa de aplicação, em associação à presença do adjuvante na calda pulverizada (SILVA et al., 2016).

Segundo Baio et al. (2016) uma boa aplicação de agrotóxicos, com resultados satisfatórios no controle do alvo devem estar ligados diretamente aos seguintes fatores: escolha das pontas corretas, regulagem da taxa de aplicação ideal, simetria operacionais, condições ambientais que favoreçam a aplicação e o momento ideal da aplicação. As condições ambientais adequadas são fundamentais para o sucesso da tecnologia de aplicação. Para Raetano (2011), na maioria dos casos, devem ser evitadas aplicações com umidade relativa inferior a 55% e temperatura ambiente maior que 30°C. De acordo com o autor, o ideal é que as aplicações sejam realizadas com velocidade do vento entre 3 e 7 km h⁻¹. Ausência de vento pode prejudicar a aplicação, em função da chance de ocorrer ar aquecido ascendente, atrapalhando a deposição das gotas pequenas (BAIO et al, 2016).

Entretanto, devido ao período que o algodão é cultivado e em função de alguns fatores, como o aumento da demanda por maior capacidade de campo operacional nos

pulverizadores, existe uma forte tendência de existir a probabilidade das recomendações de umidade e temperatura seja desrespeitada (MOTOMIYA et al., 2014), pois é a única alternativa que o produtor possui na realidade de sua lavoura, fatores que afetam diretamente a taxa de aplicação, levando os agricultores a variarem o diâmetro médio das gotas utilizarem gotas, muitas vezes, em períodos inadequados de condições meteorológicas (SILVA et al, 2014).

Entre as variações da gota pulverizada, as de maior porte contribuem para uma aplicação mais segura, com menor risco de deriva. Realmente, o tamanho de gota tem sido motivo preocupante, cada vez mais constante quanto relacionado à tecnologia de aplicação, por ser este também um dos principais fatores relacionados com a perda de defensivos para o ambiente externo (CATTANI et al., 2017).

Dentro da técnica de aplicação de artigos, principalmente na área de fitotecnia, a capacidade de cobertura do alvo está referente ao diâmetro de gotas e ao volume de calda, bem como a fatores do clima (vento, temperatura e umidade) e da planta (arquitetura, densidade de folhas e altura). No geral, as gotas pequenas proporcionam uma melhor cobertura, além de maior capacidade de penetração no dossel da planta, enquanto gotas maiores contribuem para uma aplicação mais segura, com menor risco de deriva. Realmente, o tamanho de gota tem sido motivo de preocupação, cada vez mais constante quanto relacionado à tecnologia de aplicação, por ser este também um dos principais fatores relacionados com a perda de defensivos para o ambiente externo (CATTANI et al., 2017).

O aumento na taxa de aplicação, assim como a redução do tamanho de gotas, na teoria promove melhoria no nível de cobertura em função do maior número de gotas pulverizadas até o alvo. A taxa de aplicação precisa ser maior com o aumento da taxa da massa vegetal da planta (NASCIMENTO et al., 2013).

De modo semelhante, Holtz et al. (2014), avaliando aplicações realizadas na cultura da soja, concluíram que a aplicação é proporcional a massa vegetal, encontrando condições mais favoráveis para a penetração, com aumento da taxa de deposição no terço inferior. Essa afirmação leva em consideração a interferência dos componentes da arquitetura de plantas na qualidade de aplicação.

Uma variável importante em aplicações é a taxa de aplicação utilizada. Prática comum anteriormente era a utilização de taxas superiores a 200 L ha⁻¹. Porém, existe uma tendência a se reduzi-la, diminuindo os custos de aplicação e aumentando a eficiência operacional das pulverizações. Uma menor taxa nas aplicações aumenta a autonomia e a capacidade operacional dos pulverizadores terrestres e aéreos. Por outro lado, a redução

da taxa de aplicação requer otimização da tecnologia de aplicação para que mantenha uma qualidade e a eficiência das aplicações o que torna a seleção das pontas de pulverização bastante criteriosa e importante (CHECHETTO et al., 2014).

A tecnologia de aplicação está sendo aperfeiçoada para obter melhores resultados com relação a deposição de calda sobre o alvo, com os avanços dos bicos de pulverização, pulverizadores, pesticidas e adjuvantes com respostas mais rápidas às variações de pressão e taxa de aplicação. Na mesma área, é possível trabalhar com diferentes taxas de aplicação em campos de produção, o resultado esperado do controle final pode ser comprometido devido ao alto fator de risco com pragas e doenças na cultura do algodoeiro. Uma taxa de aplicação com alto ou baixo volume necessário, torna a aplicação de produtos fitossanitários ineficiente, com isso são necessárias inúmeras aplicações durante uma safra da cultura a qual colabora para o aumento no custo de produção. Existem, no entanto, diversas dificuldades que envolvem o processo de derivar informações úteis a partir de imagens de Sensoriamento Remoto (SOUZA et al., 2016).

Na área da agricultura de precisão (AP), a qual pode trabalhar com diferentes taxas de aplicação num mesmo campo de produção, o resultado esperado do controle final pode ser comprometido devido ao alto fator de risco com as pragas e doenças na cultura do algodoeiro, pois as aplicações são altamente comprometidas devido a área foliar por exemplo. Uma taxa de aplicação com alto ou baixo volume necessário, torna a aplicação de produtos fitossanitários ineficiente, com isso são necessárias inúmeras aplicações durante uma safra da cultura a qual colabora para o aumento no custo de produção (SOARES FILHO & CUNHA, 2015).

Na medida que a parte aérea se desenvolve com aumento do índice de área foliar, é possível determinar com maior exatidão a variação de biomassa entre os tratamentos e possibilitar parametrizar informações para desenvolver informações para desenvolver uma equação que determine a taxa de aplicação segundo o (IV) (BAIO et al., 2018b).

2.3 Agricultura de precisão

No Brasil, a Agricultura de Precisão (AP) tem um importante papel no cenário atual e futuro, pois abrange a otimização de processos e custos que ajudam o agronegócio a ter mais produtividade gastando menos e evitando desperdícios desnecessários. A AP é um procedimento gerencial complexo, capaz de reconhecer atributos espacialmente, mas também quanto as suas mudanças ao longo dos ciclos agrícolas. Por isso, considera-se que a técnica é capaz de mapear as áreas agrícolas quanto as suas variabilidades espacial e temporal. A AP foi incentivada pela aplicação de fertilizantes, restringindo seu potencial.

Estima-se que essa técnica seria mais valorizada quando passasse a ser reconhecida pelos seus benefícios adicionais, do aumento do registro, fluxo e controle da informação e ainda pela redução do impacto ambiental (MACHADO et al., 2015).

A agricultura de precisão avançou como resultado de inovações em instrumentação e medições que permitem a consideração práticas agrícolas em múltiplos espaços (e temporais) escalas de fazenda para subcampo para plantas individuais. A principal promessa da AP é o desenvolvimento de uma compreensão do crescimento e rendimento das culturas dinâmica em resposta às variabilidades espaço-temporais no clima e na ambiente físico. Este conhecimento ajuda aos agricultores a otimizar decisões de gestão (HAGHVERDI et al., 2018).

A AP, tem uma definição mais sistêmica, que pode ser conceituada como uma nova forma de gestão ou de gerenciamento da produção agrícola, e não apenas como um conjunto de ferramentas para o tratamento localizado da lavoura. A AP surge como uma importante ferramenta para maximizar o gerenciamento da atividade agrícola de elevado custo de produção (ANTONINI et al., 2018).

Com a evolução da AP, foram desenvolvidas ferramentas como recursos a serem utilizados com frequência, para facilitar o desenvolvimento da lavoura. Entre esses recursos, pode-se citar as aeronaves remotamente pilotadas (RPA), que estão cada vez mais em alta, como é clara a comercialização de tais produtos no mercado de agricultura de precisão. Muitas são as possibilidades de aplicação oferecidas, como os mais diversos tipos de modelos e sensores. No entanto, não se pode negar que ainda existem dúvidas com relação aos reais ganhos ao optar por este equipamento. Refletindo acerca dessas informações, já é possível encontrar pesquisas que buscam respostas ou confirmações técnico-científicas sobre o que é exposto comercialmente. Seguindo então a mesma linha de ideia, seus ganhos e seus desafios (até o momento), muitas vezes não são muito claros (SOUSA, 2017).

As RPA têm sido utilizadas na origem de ortomosaicos e modelos digitais de elevação (MDE), que custeiam as pesquisas geoespaciais. Por vezes, estas análises necessitam de levantamentos ágeis e/ou são feitos em áreas remotas, o que inviabiliza o uso de RPA associadas a pontos de apoio para a correção da posição, moldagem e avaliação da qualidade dos ortomosaicos e MDE. Recentemente é possível verificar gerações automatizadas destes produtos através do uso de rotinas preestabelecidas disponíveis em programas especializados na manipulação das imagens obtidas pelas RPA.

Desde 2015 existe um projeto de regulamentação para o uso profissional dessas plataformas aéreas de pilotagem remota, que já foi a consulta pública, mas que ainda não entrou em vigor (SOUSA, 2017).

2.4 Sensoriamento remoto

O advento do sensoriamento remoto possibilitou uma melhor observação da terra em uma escala global e frequente auxiliando a análise de alguns fenômenos como as mudanças na cobertura vegetal e a fenologia em uma série temporal, contribuindo para a observação dos impactos das queimadas sobre a vegetação e seu uso como instrumento de manejo comparando ao GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellite*) e aos sistemas do NOAA/AVHRR (*National Oceanic Atmospheric Administration*) (SOUZA & SILVA, 2018).

Sensoriamento Remoto são técnicas desenvolvidas considerando diferentes atributos, climáticos, hidrológicos, geomorfológicos e humanos, entre as quais utiliza a alta disponibilidade de imagens de satélites abertos, desenvolvidos para a captação dessas imagens por nano satélites, na qual a alta disponibilização dessas imagens desenvolve a captação dos nano satélites, processando em nuvens baseadas em supercomputadores e sistema de computadores de alta performance (JUNIOR, 2018). A junção desses fatores acelera o conhecimento e aplicação do sensoriamento remoto, aumentando as investigações nas diversas escalas espaciais e temporais com aquisição de dados condizentes com os ciclos naturais. Além disto, um número maior de usuários consegue efetuar integrações volumosas de dados orbitais de observação da Terra, que eram inviáveis até pouco tempo (MARTINS et al., 2018).

Com a evolução da tecnologia, o uso de novas plataformas aéreas, como os satélites, tornou-se uma das principais ferramentas para análise e estudos avançados sobre a superfície terrestre, os quais são importantes para a detecção e monitoramento de mudanças, proporcionando uma melhor avaliação, manejo e gerenciamento dos recursos naturais, como o solo e a vegetação. Deste modo, é possível identificar as principais causas de degradação dos recursos naturais, que, em sua maioria, são ocasionados por ações antrópicas, tais como: queimadas, desmatamento, uso e ocupação do solo, atividades agrícolas e de pecuária; constantemente sendo provocadas por populações com baixo ou nenhum senso crítico ambiental, impactando diretamente as bacias hidrográficas, no contexto do clima semiárido nordestino, são bastante importantes para o equilíbrio natural do ambiente, que sofre com secas periódicas (FERREIRA JUNIOR & DANTAS, 2018).

Dependendo de suas características, os sensoriamentos remotos podem ser instalados em plataformas terrestres, aéreas e orbitais. A qualidade de um sensor geralmente é especificada pela sua capacidade de obter medidas detalhadas da energia eletromagnética, e estão relacionadas com a resolução espacial, espectral e radiometria. (GUEDES & SILVA, 2018).

Existem dois tipos de sensores: ativo ou passivo. O passivo funciona a partir de fontes luminosas já existentes, onde o sol funciona como a fonte geradora luminosa, e o índice é estimado a partir da reflectância da luz solar, entretanto, em dias nublados os feixes de luz sofrem interferência da maior quantidade de nuvens, deixando inviável a utilização do sensor passivo, e durante a noite, também não é possível utilizar o sensor passivo, por não haver uma fonte geradora luminosa. Já os sensores ativos emitem sua própria luz, isto é, podem ser utilizados para aferição em dias nublados ou durante a noite. Sensores passivos detectam a radiação solar refletida pelo dossel, enquanto ativos emitem luz modulada por uma fonte auxiliar que será capturado pelo sensor, igualando a operação sob diferentes condições de iluminação (CATTANI et al., 2018).

Existem sensores que operam na estimativa de emissividade, com base em medições de temperatura de brilho, que são chamados de sensores passivos (radiômetros), 12 enquanto que também existem sensores que operam com base na estimativa do coeficiente de retro espalhamento, que são chamados de sensores ativos ou radares (LETTENMAIER et al., 2015).

Karthikeyan et al. (2017) apresentam revisão bibliográfica muito completa sobre o desenvolvimento do sensoriamento remoto (ativo e passivo), bem como análises comparativas entre 10 produtos disponíveis de umidade do solo, com resultados que apontam boas perspectivas para a utilização dos produtos SMOS (Soil Moisture Ocean Salinity) e SMAP (Soil Moisture Active Passive) como exemplo.

Existem várias ferramentas que apoiam o produtor rural e completam a sua eficiência produtiva, como o uso de sensores de solo. O sensoriamento remoto é um exemplo claro – que possibilita a localização com precisão por meio de fotos de satélites de amplas áreas, e os aeronave remotamente pilotada (RPA) recém incorporados no mercado brasileiro, que ajudam no processo de gestão de lavouras, entre outras (ARTIOLI & BELONI, 2016).

2.5 Índice de vegetação

Os índices de vegetação (IV) são transformações das quantificações das atividades vegetativas, utilizando as faixas do visível e infravermelho próximo (NIR - Near Infrared) (SHIRATSUCHI et al., 2014). Entre os vários índices de vegetação espectrais, o mais

conhecido é o NDVI, e através dele determinam-se parâmetros agronômicos, como o índice de área foliar, porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila e biomassa verde.

Os índices de vegetação (IV) adquiridos pelos sensores ópticos possuem uma conexão positiva com diversas características do crescimento das plantas de algodão (BAIO et al., 2018a).

Existem vários índices de vegetação que podem ser utilizados na agricultura, dependendo na necessidade. Martins et al. (2018) em um experimento com algodão, utilizou dois IV: SAVI (Índice de Vegetação Ajustada pelo Solo) e NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada); e seu ofício foi trabalhar com os IV no algodoeiro sob diferentes fungicidas de controle da mancha da ramulária.

O índice de vegetação diferenciado normalizado (NDVI) é comumente empregado com um par de sensores comercialmente disponíveis, bem como em plataformas de imagens aéreas e baseadas em satélite, enquanto o índice de vegetação (SAVI) é o melhor preditor de índice de área foliar pesquisados. Segundo Raper & Vaco (2015), a partir desses resultados que os IV da borda vermelha têm potencial para melhorar a predição da densidade de clorofila do dossel da planta.

Moreira et al. (2017), em um trabalho relacionando índices de vegetação e umidade em clima subtropical, afirma que existe uma forte relação entre essas duas variáveis, essa conclusão foi observada em condições de clima subtropical usando dados meteorológicos observados e índices de vegetação dos campos naturais no sul do Brasil.

A cultura do algodão é influenciada pela altura das plantas que é um traço geométrico que pode ser usado não apenas como um indicador do seu crescimento, mas também um Parâmetro para calcular características avançadas tais como biomassa e rendimento.

Segundo Baio et al. (2018a), os procedimentos para obter o mapa de prescrição do regulador de crescimento aplicado com taxa variável tecnologia em plantas de algodão usando o NDVI. Sanches et al. (2018), recomendam que esta variação na redução da aplicação do spray não exceda 20% em torno da taxa média, para não comprometer a gota e o seu tamanho em função da variação do circuito hidráulico do pulverizador pressão.

Thomasson et al. (2018), em experimento realizado com algodão, relatou que para aproveitar ao máximo a capacidade do sensoriamento remoto, é necessário utilizar alta resolução de imagens. O desenvolvimento dos mapas de prescrição, são capazes de fornecer a essência necessária para avaliar vários parâmetros de precisão, no entanto, no futuro, pode ser desejável aplicar precisamente o fungicida a um nível de detalhe mais alto do que 5 x 5 m, potencialmente até no nível de planta única.

REFERÊNCIAS

- ABRAPA. Associação Brasileira dos Produtores de Algodão. 2019. Disponível em <https://www.abrapa.com.br/Paginas/dados/ranking.aspx> Acesso: 12 de março de 2019.
- AMARAL, L.R.; MOLIN, J.P.; SCHEPERS, J.S.; The effectiveness of three vegetation indices obtained from a canopy sensor in identifying sugarcane response to nitrogen. *Agronomy Journal*, v. 107, n. 4, p.1513-1523, 2015. DOI: http://www.agriculturadeprecisao.org.br/upimg/publicacoes/pub_algorithm-for-variable-rate-nitrogen-application-in-sugarcane-based-on-active-crop-canopy-sensor-06-01-2016.pdf
- ANTONINI, R.C.; BOTOLOTTO, R.P.; ZAMBELAN, J.F.; DALLA NORA, D.; PASINI, M.P.B.; FIORIN, J.E.; Adoção e uso da agricultura de precisão na região das missões do Rio Grande do Sul. *Holos*, v. 4, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2018.6297>
- ANTUNIASSI, U.R.; MILLER, P.; PAICE, M. Performance evaluation of injection metering systems. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.1, p.159-165, 2002. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662002000100028>
- ARTIOLI, F.; BELONI, T. Diagnóstico do perfil do usuário de Drones no Agronegócio Brasileiro. *Revista iPecege*, v.2, n.3, 2016, p. 40-60. DOI: <https://doi.org/10.22167/r.ipecege.2016.3.40>
- BAIO, F. H. R.; SILVA, S. P. DA; CAMOLESE, H. S. Financial analysis of the investment in precision agriculture techniques on cotton crop. *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering*, v. 37, n. 4, p. 838–847, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v37n4p838-847/2017>
- BAIO, F. H. R.; NEVES, D. C.; SOUZA, H.B.; LEAL, A. J.F.; LEITE, R. C.; MOLIN, J. P.; SILVA, S. P. Variable rate spraying application on cotton using an electronic flow controller. *Precision Agriculture*., v.19, n.5 p. 1–17, 2018a. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-018-9564-7>
- BAIO, F. H. R.; PETTENAN, A. L.; CAMOLESE, H., DA S.; GABRIEL, F.; RODOLFO, R. Evaluation of spray deposits with twin flat tip with air induction in two soybean stages. *IDESIA*, v. 34, n. 4, p. 43–48, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292016005000018>
- BAIO F. H. R.; SILVA, E. E. DA; VRECH, M. A.; SOUZA, F. H. Q.; ZANIN, A. R. A.; TEODORO, P. E. Vegetation Indices to Estimate Spray Application Rates of Crop Protection Products in Corn. *Agronomy Journal*, v. 110, n. 4, p. 1254-1259, 2018b. DOI: DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2017.12.0718>

- CATTANI, C.E.V.; GARCIA, M.R.; MERCANTE, E.; JOHANN, J. A.; CORREA, M.M.; OLDONI, L.V. Spectral-temporal characterization of wheat cultivars through NDVI obtained by terrestrial sensors. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 21, n. 11, p. 769-773, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n11p769-773>
- CHECHETTO, R.G.; MOTA, A.A.B.; ANTUNIASI, U.R.; CARVALHO, F.K.; VILELA, C.M.; SILVA, A.C.A. Caracterização da taxa de aplicação e pontas de pulverização utilizadas no Estado de Mato Grosso. *Magistra*, v. 26, n. 1, p. 89-97, 2014. DOI: <https://magistraonline.ufrb.edu.br/index.php/magistra/article/view/442>
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos , V. 6, N. 1, - SAFRA 2018/19 – Boletim Grãos| OUTUBRO 2018. Disponível em <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos> Acesso: 20 de outubro de 2018.
- CURY, A. Pais brilhantes, professores fascinantes, A educação dos nossos sonhos formados por jovens felizes e inteligentes. Sextante, 2003, p.160.
- DE CARVALHO JUNIOR, O.A. Aplicações e perspectivas do sensoriamento remoto para o mapeamento de áreas inundáveis. *Revista de Geografia*, v. 35, n. 4, (especial XII SINAGEO), 2018. DOI: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/viewFile/238239/30059>
- FERREIRA JUNIOR, J.J.; DANTAS, M.J.F. Análise do albedo da superfície e de índices de vegetação por sensoriamento remoto na bacia hidrográfica do Rio Pacoti/CE. *Revista Tecnologia*, v. 39, n. 2, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5020/23180730.2018.8132>
- GUEDES, J. C.F.; SILVA, S.M.P.DA Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: princípios físicos, sensores e métodos. *Acta Geografia*, v. 12, v. 29, p. 127-144, 2018. DOI: <http://doi.org/10.5654/actageo0000.0000.0000>
- HAGHVERDI, A.; WASHINGTON-ALLEN, R. A.; LEIB, B. G. Prediction of cotton lint yield from phenology of crop indices using artificial neural networks. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 152, p. 186–197, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.07.021>
- HIRD, J. N.; DELANCEY, E. R.; MCDERMID, G. J.; KARIYEVA, J. Google Earth Engine, open-access satellite data, and machine learning in support of large-area probabilistic wetland mapping. *Remote Sens.*, v. 9, n. 12, p. 1315, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs9121315>
- LETTENMAIER, D. P.; ALSDORF, D.; DOZIER, J.; HUFFMAN, G. J.; PAN, M.; WOOD, E.F. Inroads of remote sensing into hydrologic science during the WRR era. *Water Resources Research*, v. 51, n. 9, p. 7309 – 7342, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/2015WR017616>

- MACHADO, O. D. DA C.; ALONÇO, A. DOS S.; FRANCETTO, T. R.; CARPES, D. P. Acurácia e tempos de resposta de máquinas para aplicação de defensivos agrícolas à taxa variável. *Ciência Rural*, v. 45, n. 3, p. 440-449, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20130899>
- MACIEL, C. F. S.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C.; VITÓRIA, E. L. DA; CECON, P. R. Distribuição volumétrica e espectro de gotas das pontas hidráulicas LD 11002 E MAG-2. *Revista Engenharia na Agricultura*, v. 25, n. 3, p.183-199, 2017. DOI: <https://doi.org/10.13083/reveng.v25i3.671>
- MADUREIRA, R. P.; RAETANO, C. G.; CAVALIERI, J. D. Interação pontas-adjuvantes na estimativa do risco potencial de deriva de pulverizações. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 2, p.180-185, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n2p180-185>
- MARTINS, L.M.; NEIRO, E.D.A.S.; DIAS, A.R.; ROQUE, C.G.; BAIO, F.H.R.; TEODORO, P.E. Índices de vegetação no algodoeiro sob diferentes fungicidas de controle da mancha da ramulária. *Ciências Biológicas*, v.34, n.6, p.1706-17013, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14393/BJ-v34n6a2018-39975>
- MOREIRA, A.; FONTANA, D.C.; KUPLICH, T. M.; CARDOSO, M.A. Dados meteorológicos estimados em condições de clima subtropical e a relação com índices de vegetação. *Revista Brasileira de Cartografia*, v.69, n.6, p.1075-1091, 2017. DOI: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44311/23393>
- MOTOMIYA, A. V. DE A.; VALENTE, I. M. Q.; MOLIN, J. P.; MOTOMIYA, W. R.; BISCARO, G. A.; JORDAN, R. A. Índice De Vegetação No Algodoeiro Sob Diferentes Doses De Nitrogênio E Regulador De Crescimento. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 35, n. 1, p. 169-178, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n1p169>
- NASCIMENTO, A. B.; OLIVEIRA, G.M.DE; FONSECA, I.C.DE.B.; SAAB, O.J.G.A.; CANTERI, M.G. Determination of the samples required of water-sensitive paper in experiments related spray technology. *Ciências Agrárias*, v. 34, n. 6, p. 2687-2696, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n6p2687>
- OLIVEIRA, R.B.DE; ANTUNIASSI, U.R.; MOTA, A.A.B.; CHECHETTO, R.G. Potencial de adjuvantes para redução da produção de pesticidas agrícolas. *Revista Engenharia Agrícola*, v. 33, n. 5, p.986-992, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162013000500010>
- OLIVEIRA, R.B.DE; ANTUNIASSI, U.R.; GANDOLFO, M.A. Características dos adjuvantes que influenciam na deriva de pulverizações agrícolas. *Revista Engenharia Agrícola*, v.35, n.1, p. 109-116, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n1p109-116/2015>

- PINHEIRO, R. Estudos de uma tecnologia favorável, na suscitação de melhoras na qualidade de técnicas empregadas no campo por José Paulo Molin. *Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar*, v. 2, n. 1, p.53-71, 2016. DOI: <http://codaf.tupa.unesp.br:8082/index.php/recodaf/article/view/23/40>
- RAETANO, C. G. Introdução ao estudo da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. In: ANTUNIASSI, ULISSES, ROCHA; BOLLER, W. (Org.) *Tecnologia de aplicação para culturas anuais*. FEPAF, 2011, p. 15 - 26.
- RAPER T.B.; VARCO, J.J. Canopy-scale wavelength and vegetative index sensitivities to cotton growth parameters and nitrogen status. *Precision Agriculture*, v. 16, n. 1, p. 62-76, 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s11119-014-9383-4>
- RIBEIRO, E. B.; CASTELLANI, M. A.; SILVA, C. A. D. DA.; MELO, T. L.; SILVA, G. DOS S.; VALE, W. S. DO; SANTOS, A. S. Métodos de destruição de restos de cultura do algodoeiro e sobrevivência do bicudo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 50, n. 11, p.993-998, 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2015001100001>
- SANCHES, J. J.; FERREIRA, M. DA C.; ANDRADE, D. J. DE. Impact of rainfalls on the acaricide propargite with and without addition of adjuvants for the control of the mite *Brevipalpus yothersi*. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 40, n. 1, p. e-775, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452018775>
- SHIRATSUCHI, L. S; BRANDÃO, Z. N; VICENTE, L. E.; VICTORIA, D. C.; DUCATI, J. R.; OLIVEIRA, R. P.; VILELA, M. F. Sensoriamento Remoto: conceitos básicos e aplicações na Agricultura de Precisão. In: *Agricultura de precisão: Resultado de um novo olhar*, Brasília-DF: Embrapa Instrumentação, p. 58-73, 2014.
- SILVA JUNIOR, G. J.; SCAPIN, M. S.; SILVA, F. P.; SILVA, A. R. P.; BEHLAU, F.; RAMOS, H. H. Spray volume and fungicide rates for citrus black spot control based on tree canopy volume. *Crop Protection*, v. 85, p. 38–45, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.03.014>
- SILVA SF, MENDES DF, FERRARI JL, SOUSA EF, GARCIA RF, SANTOS AR. Utilização do sensoriamento remoto na agricultura de precisão: uma análise bibliométrica. *Nucleus* v. 11, n. 2, p. 459-470, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.3738/1982.2278.1008>
- SOARES FILHO, R.; DA CUNHA, J. P. A. R. Agricultura de precisão: particularidades de sua adoção no sudoeste de Goiás – Brasil. *Engenharia Agrícola*, v. 35, n. 4, p. 689–698, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n4p689-698/2015>
- SOUSA, H. L. DE. Sensoriamento Remoto com VANTs: uma nova possibilidade para a aquisição de geoinformações. *Revista Brasileira de Geomática*, v.5, n.3, p. 326–342, 2017. DOI: <http://doi.org/10.3895/rbgeo.v5n3.5511>

- SOUZA, C. G.; CARVALHO, L.; AGUIAR, P.; ARANTES, T.B. Machine learning algorithms and variable of remote sensing for coffee cropping mapping. v.22, n.4, p. 751–773, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702016000400043>
- SOUZA, R. V. B. DE; SILVA, M. DA. Revista de geografia . Revista de Geografia, v. 35, n. 2, p. 1–21, 2018. DOI: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/>
- SUAREZ, L. A.; APAN, A.; WERTH, J. Hyperspectral sensing to detect the impact of herbicide drift on cotton growth and yield. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, v. 120, p.65-76, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.08.004>
- TELES, G. C.; FUCK, M. P. Pesquisa e desenvolvimento de cultivares: o perfil tecnológico da Cotonicultura Brasileira. Informe Gepec, v. 20, n. 1, p. 61-77, 2016.
- THOMASSON, A.J.; WANG, T.; WANG, X.; COLLETT, R.; YANG, C.; NICHOLS, R. Disease detection and mitigation in a cotton crop with UAV remote sensing. The Journal of Cotton Science, v. 10664, 106640L-1, 2018. <https://doi.org/10.1117/12.2307018>
- VIEIRA, B. C.; ALVES, G. S.; CARVALHO, F. K.; CUNHA, J. P. A. R.; ANTUNIASSI, U. R.; KRUGER, A. G. R. influence of airspeed and adjuvants on droplet size distribution in aerial applications of glyphosate. p. 1–14, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.13031/aea.12587>
- XAVIER, T.D.DE.A.; FILHO L.N.; LOPES S.S.DOS.S. Análise prospectiva do algodão transgênico no Brasil, v.11, n.3, p.927-939, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.9771/cp.v11i3.27115>
- YU, L.H.; WU, S.J.; PENG, Y.S.; LIU, R.NA; CHEN, X.; ZHAO, P.; XU, P.; ZHU, J. B.; JIAO, G. L.; PEI, Y.; XIANG, C. B. Arabidopsis EDT1/HDG11 improves drought and salt tolerance in cotton and poplar and increases cotton yield in the field, v.14, ed.1, p.72-84, 2016. <https://doi.org/10.1111/pbi.12358>

CAPÍTULO 1 - USO DE SENSOR MULTIESPECTRAL PARA ESTIMATIVA DA TAXA DE APLICAÇÃO NA PULVERIZAÇÃO AGRÍCOLA DA CULTURA DO ALGODOEIRO

Pedro H. A. Martins^{1*}, Fábio H. R. Báio²

^{1*}Corresponding author. Federal University of Mato Grosso do Sul - MS, Brazil. E-mail: phmartins2002@yahoo.com.br

RESUMO: A taxa de aplicação depende de vários fatores na pulverização agrícola, mas, principalmente, da massa foliar da cultura e do posicionamento do alvo de controle. O objetivo deste estudo foi desenvolver uma equação que indique uma taxa de aplicação que maximize a deposição no estrato médio da cultura do algodoeiro, com base nas informações dos índices de vegetação (IV). O trabalho foi realizado no ano agrícola 2017/18. A cultura do algodoeiro foi implantada em espaçamento de 0,80 m e população estimada de 100 mil plantas ha⁻¹ em sistema de semeadura direta. Foi utilizado o sensor multiespectral Sequoia, instalado em uma aeronave remotamente pilotada para a obtenção dos IV. O delineamento experimental aplicado foi em parcelas subdivididas no esquema fatorial 4x4 (quatro taxas de aplicação; quatro estádios fenológicos), com quatro repetições para cada tratamento. A mensuração da deposição da calda sobre as folhas das plantas de algodoeiro foi realizada através do procedimento de análise por balanço de massas. Verificou-se que com o aumento dos índices de vegetação há necessidade de elevação da taxa de aplicação para a manutenção da deposição de calda no estrato médio das plantas do algodoeiro. Segundo as condições experimentais avaliadas, os dois índices de vegetação com maior relação com a variação da taxa de aplicação foram o NDRE e IV 760/550 para a cultura do algodoeiro.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura de precisão, índice de vegetação, pesticida.

INTRODUÇÃO

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum*), é hoje uma das culturas de maior importância no país e recebe diversas aplicações de pesticidas nos tratamentos fitossanitários durante seu ciclo (Carvalho et al., 2017). Os procedimentos de aplicação de calda podem atuar na eficiência da deposição das gotas pulverizadas e aspectos como a taxa e o momento da aplicação, além do uso ou não de adjuvantes devem ser ajustados da melhor maneira, objetivando reduzir as perdas na deposição de gotas (Camolese & Baio, 2016).

A taxa de aplicação é um dos principais fatores que interferem na deposição e cobertura da calda sobre o alvo. Há tendência da redução dessa taxa em função da necessidade do aumento da capacidade operacional de campo dos pulverizadores agrícolas (Baio et al., 2016). Todavia, a redução dessa variável sem uma premissa técnica adequada, somente pela indisponibilidade de máquina, pode acarretar no controle fitossanitário deficiente, aumentando o custo de produção pela necessidade de maior número de pulverizações (Cunha et al., 2018).

Durante o crescimento das culturas, há tendência de se aumentar a taxa de aplicação em função do aumento da massa vegetal. Todavia, não há subsídios científicos para essa recomendação no algodoeiro, a qual acaba sendo realizada empiricamente. Dessa forma, técnicas de agricultura de precisão e sensoriamento remoto podem ser aplicadas para essa recomendação da taxa de aplicação usando sensores ópticos (Ramirez et al., 2017). Segundo Baio et al. (2018b), na cultura do milho, quando valores dos índices de vegetação (IV) são mais elevados, há a necessidade de aumento na taxa de aplicação, para manter a mesma deposição esperada de gotas no extrato médio das plantas.

A massa vegetal pode ser mensurada indiretamente pelos IV (Raper & Varco, 2015). Através de sensores espectrais. A espectrometria óptica é baseada na premissa de que pigmentos como a clorofila absorvem a radiação nos comprimentos de onda dentro do espectro visível e refletem a radiação no infravermelho. O Índice de Vegetação com Diferença Normalizada (NDVI) é o mais utilizado em pesquisas com uso de imagens multiespectrais e sensores (Portz et al., 2012). Assim, é

importante a avaliação da possibilidade do uso de sensor multiespectral para estimativa da massa da cultura, a qual, influencia na determinação da taxa de aplicação na pulverização agrícola em culturas anuais.

Outro IV muito utilizado na agricultura segundo Andrade et al. (2018), é o NDVI (Índice de Água por Diferença Normalizada), que está intimamente ligada a qualquer cultura, pois a umidade é a base para o desenvolvimento dos índices, afetando diretamente os ciclos das culturas.

O objetivo deste estudo foi desenvolver uma equação que indique uma taxa de aplicação que atinja a ideal deposição no estrato médio da cultura do algodoeiro, com base nas informações dos índices de vegetação (IV).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de Chapadão do Sul – MS, durante a safra 2017/18 em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. Foram empregadas quatro taxas de aplicação (40, 70, 100 e 130 L ha⁻¹), em parcelas experimentais com dimensões de 2,7 x 6,0 m, totalizando 64 parcelas. Foram utilizadas as variáveis: deposição relativa (DEP); Taxa de Aplicação (TA, Taxa); altura da planta (ALT); e os índices de vegetação ou bandas espectrais.

Em cada parcela foi cultivada o algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.), cultivar FM-975 da empresa Fiber Max, com hábito de crescimento indeterminado e ciclo médio de 200 dias. A semeadura foi realizada no dia 9 de fevereiro de 2018 (segunda safra), com espaçamento entre fileiras de 0,80 m e população estimada em 100.000 plantas ha⁻¹. Os tratos culturais foram realizados conforme necessidade e as recomendações para a localidade (Freire, 2015).

Durante a condução da cultura, realizaram-se duas aplicações do regulador de crescimento cloreto de mepiquat (Pix HC[®]), aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE) nas doses de 40, 45, 50, 55 mL ha⁻¹. Essas doses foram distintas para induzir diferentes taxas de crescimento na cultura, as quais por sua vez, induziram a vegetação com diferentes IV (Baio et al., 2018b). Assim, as parcelas

com diferentes valores médios de IV puderam ser utilizadas como variável do experimento. Em todas as aplicações foi adicionado a calda o adjuvante Fighter R[®].

As bandas espectrais mensuradas diretamente pelo sensor sem manipulação matemática foram: verde (GREEN); vermelho (RED); borda do vermelho (RE); e infravermelho próximo (NIR). A partir dessas bandas, foram calculados os seguintes IV: relação das bandas do infravermelho e verde (IV 760/550); diferença normalizada da borda do vermelho (NDRE); índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI); índice de vegetação ajustada ao solo (SAVI); índice de vegetação da diferença do verde normalizado (GNDVI); e logaritmo neperiano da relação do infravermelho próximo e borda do vermelho (LnRE).

Quadro 1. Relação dos índices de vegetação a serem calculados pelo uso do sensor multiespectral Crop Circle ACS 470.

Índice De Vegetação	Nome	Equação	Referências
IV 760 e 550	R760 / R550	$R760 / R550$	GITELSON & MERZLYAK (1997)
NDVI	Índice de vegetação pela diferença normalizada	$(R_{NIR} - R_{RED}) / (R_{NIR} + R_{RED})$	ROUSE et al. (1973)
GNDVI	Índice de vegetação pela diferença normalizada ao verde	$(R_{NIR} - R_{GREEN}) / (R_{NIR} + R_{GREEN})$	GITELSON, KAUFMAN & MERZLYAK (1996)
NDRE	Índice de vegetação pela diferença normalizada à borda do vermelho (<i>rededge</i>)	$(R_{NIR} - R_{RED}) / (R_{NIR} + R_{RED})$	GITELSON & MERZLYAK (1994)
IV Rededge	Índice de vegetação da borda do vermelho (<i>rededge</i>)	$(\ln \rho_{760} - \ln \rho_{730}) * 100$	PORTZ et al. (2012)

Os IV foram obtidos pela câmera multiespectral passiva contendo o sensor Parrot Sequoia. Foram utilizadas as bandas espectrais do verde (550 nm), vermelho (660 nm), borda do vermelho (tradução literal livre) ou *Rededge* (735 nm) e infravermelho próximo (790 nm). Esse sensor foi instalado na aeronave remotamente pilotada (RPA) Sensefly eBee RTK. Os sobrevoos com a RPA foram realizados aos 40, 65 e 90 DAE e no mesmo dia e horários das aplicações das avaliações das deposições. O processamento das imagens multiespectrais foi realizado utilizando o programa de ortorretificação e mosaicagem Pix4D v.4.2. A manipulação dos mapas dos IV foi realizada pelo programa ESRI ArcGIS 10.5, o qual também foi utilizado para extrair os valores médios dessa variável de cada parcela experimental, nos diferentes momentos das aplicações.

As quatro taxas de aplicação foram pulverizadas por meio do pulverizador costal pressurizado por CO₂ da Herbicat. O pulverizador passou por uma calibração prévia de forma a aplicar as taxas de aplicação em estudo. A pulverização foi realizada com uso de pontas (Teejet TT 11001 e Teejet TT 110015) (Tabela 1). A variação das taxas de aplicação foi possível através da variação da velocidade e vazão das pontas.

TABELA 1. Taxa de aplicação, modelo de ponta, velocidade de deslocamento, pressão do sistema, diâmetro mediano volumétrico, índice SPAN e porcentagem de gotas menores que 100 µm.

Ponta	Taxa de aplicação (L ha ⁻¹)			
	40	70	100	130
	Teejet TT 11001	Teejet TT 11001	Teejet TT 110015	Teejet TT 110015
Velocidade (m s ⁻¹)	2,33	1,33	1,67	1,28
Pressão (KPa)	100	100	210	210
DMV (µm)	279,30	279,30	236,80	236,80
SPAN	1,42	1,42	1,24	1,24
> 100 µm (%)	8,17	8,17	3,32	3,32

DMV: Diâmetro mediano volumétrico; Índice SPAN: Amplitude relativa

O corante traçador utilizando foi o FDC-5 (sal tri-sódico 5-hidroxi-1-(4-sulfofenil)-4-[(4-sulfofenil)azo]-pirazole-3-carboxilato) amarelo de tartrazina nas concentrações de 6.200, 3.542, 2.480, 1.907 mg L⁻¹, referente as quatro taxas de aplicação utilizadas, 40, 70, 100 e 130 L ha⁻¹, respectivamente. Essas quatro concentrações do corante traçador nas soluções aplicadas

proporcionaram a mesma deposição do soluto por área aplicada (quantidade do traçador por ha⁻¹). As pulverizações foram realizadas no período da manhã, como forma de se obter melhores condições meteorológicas durante as aplicações.

A temperatura e a umidade foram monitoradas utilizando o termo higrômetro Instrutemp modelo DT-250-N. A velocidade do vento foi monitorada a cada 15 minutos pelo anemômetro Instrutemp modelo AD-250. Os dados de temperatura e pluviosidade nos decêndios do ciclo foram adquiridos da estação meteorológica automatizada de Chapadão do Sul/MS (Inmet, 2019).

A avaliação da deposição das caldas pulverizadas sobre as folhas das plantas do algodoeiro foi realizada pela técnica de balanço de massas (Alves et al., 2014). O balanço de massa gerado pelos depósitos do corante traçador nas amostras em relação à concentração inicial foi utilizado para calcular a porcentagem de deposição relativa, (Equação 1):

$$Ci.Vi = Cf.Vf \quad (1)$$

onde: Ci e Cf= concentração inicial e final do corante na mistura (µg L⁻¹); Vi e Vf = volume inicial e final capturado na amostra foliar (mL).

A coleta de uma folha amostral do estrato médio de três plantas foi realizada em cada parcela. Em todas as parcelas foram utilizadas luvas de procedimento descartáveis para que não ocorresse contaminação das amostras (Jiang et al., 2018). Após a coleta, o corante traçador depositado nas amostras foi extraído pelo uso da solução de 30 mL de água destilada contendo solução detergente Tween 80 a 1%. A quantificação dos depósitos foi realizada pelo uso do espectrofotômetro Biospectro modelo SP-22, com leituras de absorbância em 427 nm. A concentração final das amostras foi obtida por curva de calibração. As folhas foram submetidas ao medidor de área foliar portátil Tecnal CI-203 possibilitando a associação dos depósitos quantificados em centímetros quadrados.

Todos os dados foram submetidos a análise de variância. As variáveis analisadas com significância estatística foram utilizadas para a elaboração da rede de correlações de Pearson. Foram

elaborados gráficos de superfície gerados a partir do programa estatístico SigmaPlot v.11. Foi realizada a análise de variáveis canônicas e árvore de decisão pelo o software Rbio (Bhering, 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O regime hídrico não foi uniforme nos meses que compreendem da semeadura do algodoeiro a última avaliação (Figura 1). A semeadura e as adubações foram realizadas nos períodos de maior pluviosidade. Como esperado em climas Aw, tropical úmido com inverno seco (Inmet, 2019), a precipitação foi diminuindo no período de cultivo. O índice pluviométrico foi significativo apenas nos dois primeiros meses de experimento (fevereiro e março), em que houve regime de chuvas intenso, típico da região de Chapadão do Sul/MS nesse período do ano. Característica confirmada por Nascimento et al. (2018), em trabalho que aborda temperatura, condições climáticas nas regiões do Mato Grosso do Sul, a maior significância foi nos primeiros meses não apenas pela disponibilidade de água, mas também pelo período de senescência da cultura, onde é o envelhecimento natural das folhas.

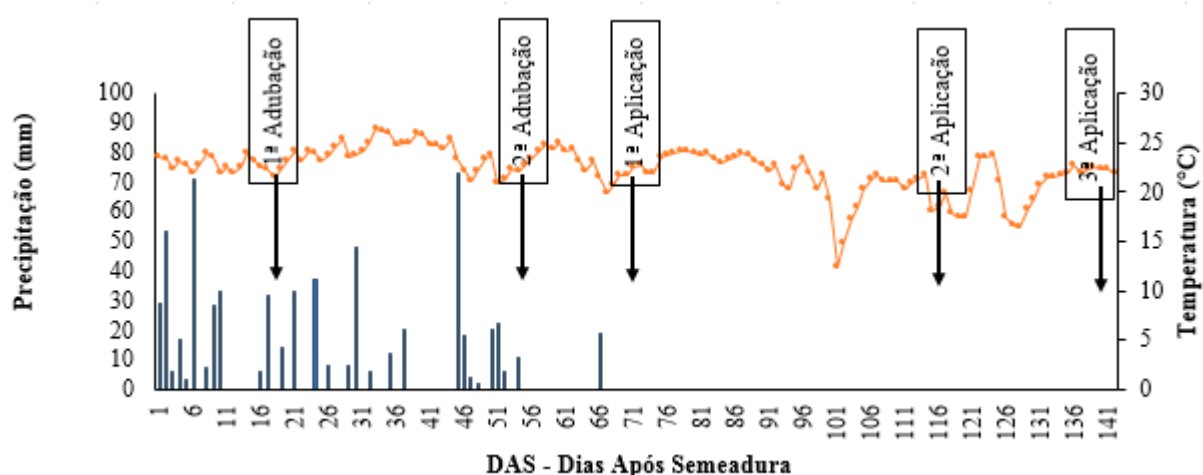


FIGURA 1. Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura média (°C). Chapadão do Sul-MS, CPCS/UFMS, 2018.

A umidade relativa do ar mensurada, em todas as aplicações na cultura do algodoeiro, esteve abaixo das recomendadas, que estão abaixo da casa dos 65% e precipitação anual próxima de 1500 mm (Antuniassi & Baio, 2009), todavia, coerentes com as existentes durante o cultivo dessa cultura na região, especialmente entre os meses de abril a junho (Tabela 2), foram registradas no experimento em campo. Essa variável pode ter influenciado a deposição da calda nas folhas da cultura.

TABELA 2. Média da temperatura (°C), velocidade do vento (km h⁻¹) e umidade do ar (%), durante as pulverizações no ano agrícola de 2017/2018.

	Temperatura média e variação (°C)	Velocidade do vento (km h ⁻¹)	UR (%)
1ª Aplicação aos 71 DAE	32 (30-34)	4	36
2ª Aplicação aos 116 DAE	30 (28-32)	7	34
3ª Aplicação aos 140 DAE	24 (22-26)	8	28

Aplicações em abril (1ª), junho (2ª) e julho (3ª) no ano experimental.

No Cerrado do Centro-Oeste brasileiro, o algodoeiro (*Gossypium hirsutum*) é geralmente semeado de novembro a dezembro e colhido de junho a julho (Ferreira et al., 2015). Nessas condições de cultivo, a disponibilidade de água e a temperatura são adequadas ao seu estabelecimento e desenvolvimento, diminuindo os riscos de perda de produtividade devido a déficit hídrico, durante o período reprodutivo. A produtividade do algodoeiro é influenciada pela radiação solar, temperatura e disponibilidade de água (Ferreira et al., 2015).

Houve efeito significativo dos tratamentos sobre as variáveis deposição, altura das plantas e IV avaliados (Tabela 3). O valor de F significa que há alguma diferença entre esses grupos, capaz de ser expressa adequadamente por meio de um modelo de regressão.

TABELA 3. Valores de F calculado para o efeito de blocos, taxas de aplicação para as variáveis deposição relativa (DEP), altura da planta (ALT) e índices de vegetação na cultura do algodoeiro.

Fontes de variação	DEP	ALT	Green	Red	RE	NIR
Bloco	5,07*	19,56*	19,24*	18,09*	52,82*	62,06*
Taxa de aplicação	46,19*	8,58*	7,09*	21,42*	17,67*	17,24*
Coeficiente de variação (%)	23,13	16,32	1,95	5,66	3,23	4,14
Fontes de variação	760/550	NDVI	NDRE	LnRe	SAVI	GNDVI
Bloco	58,57*	32,09*	63,77*	61,67*	44,57*	65,30*
Taxa de aplicação	18,39*	20,98*	16,44*	17,52*	19,92*	21,52*
Coeficiente de variação (%)	4,83	4,66	3,93	4,05	5,72	1,66

*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Aplicando-se a correlações de Pearson. Os índices de vegetação GNDVI e IV 760/550 apresentam uma correlação positiva com a altura de plantas do algodoeiro, ou seja, quanto maior a altura da planta maiores serão esses índices de vegetação (Figura 2). Resultado semelhante foi apresentado por Ramirez et al. (2017), para a cultura do algodão. Já a banda do verde apresenta uma correlação negativa com a altura das plantas; entretanto a relação entre as variáveis é diretamente proporcional a aplicação. A correlação entre a deposição e taxa de aplicação é positiva. Assim, quanto maior a taxa de aplicação maior é a deposição no terço médio das folhas do algodoeiro. A correlação de Person é bastante utilizada na agricultura moderna, pois com ela é possível assimilar vários valores quantificando-se negativamente e positivamente as variáveis em questão. No experimento foi utilizado esse recurso para melhor demonstrar a relação entre tais variáveis, o que trouxe benefício visual e tornou facilitada a visualização e o entendimento da variabilidade dos dados como verificado por Moreira et al. (2018), levando em consideração a simplicidade na utilização dos dados na área agrícola, ratificando a eficiência dessa correlação. Todos os índices de vegetação apresentaram correlação com a deposição, sendo observado que em alguns casos a correlação mais elevada (NDRE e 760/550) que em outras, pois existe uma maior proximidade com a deposição relacionado com os outros IV.

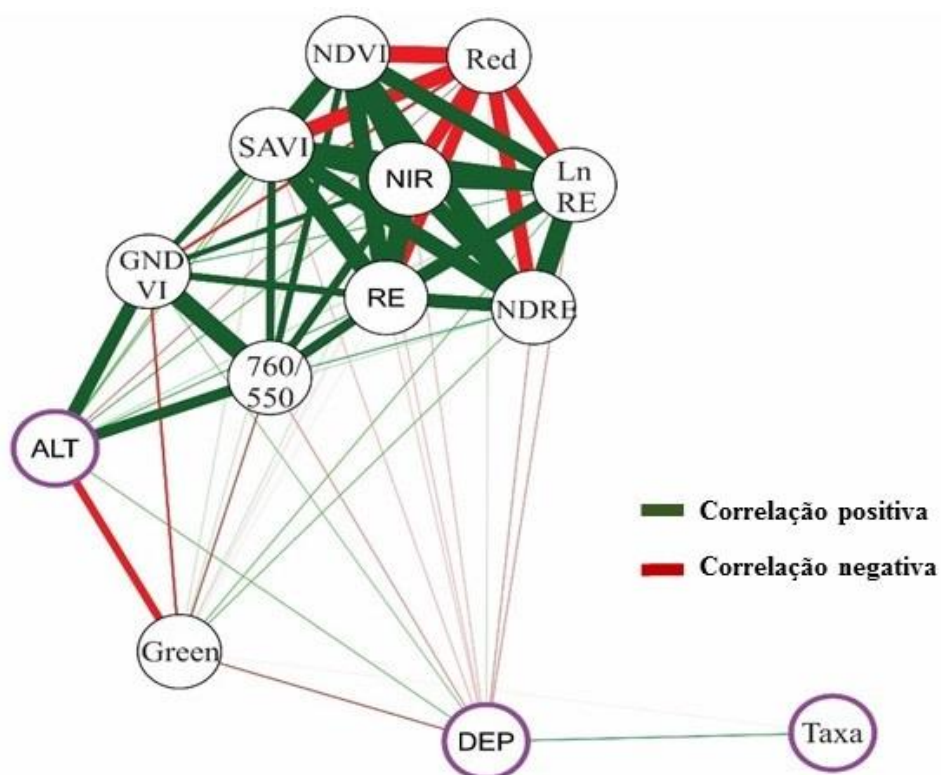


FIGURA 2. Rede de correlações de Pearson entre as variáveis deposição relativa (DEP), Taxa de Aplicação (Taxa), altura da planta (ALT) e IV avaliados na cultura do algodão no ano agrícola de 2017/18.

A Figura 3 ilustra o resultado da análise das variáveis canônicas. As duas primeiras variáveis acumularam 95,2% da variância total proporcionada pelas taxas de aplicação. Bhering (2017) reporta que quando a soma dessas duas primeiras variáveis ultrapassa os 70% significa que há confiabilidade nos resultados apresentados. Esse número acumulado mostra uma proximidade entre os valores dos dois experimentos, demonstrando confiabilidade nos dados. O vetor deposição está associado as maiores taxas de aplicação (130 e 100 L ha^{-1}) e aos vetores dos índices NDRE e 760/550, concordando com os resultados demonstrados na rede de correlações.

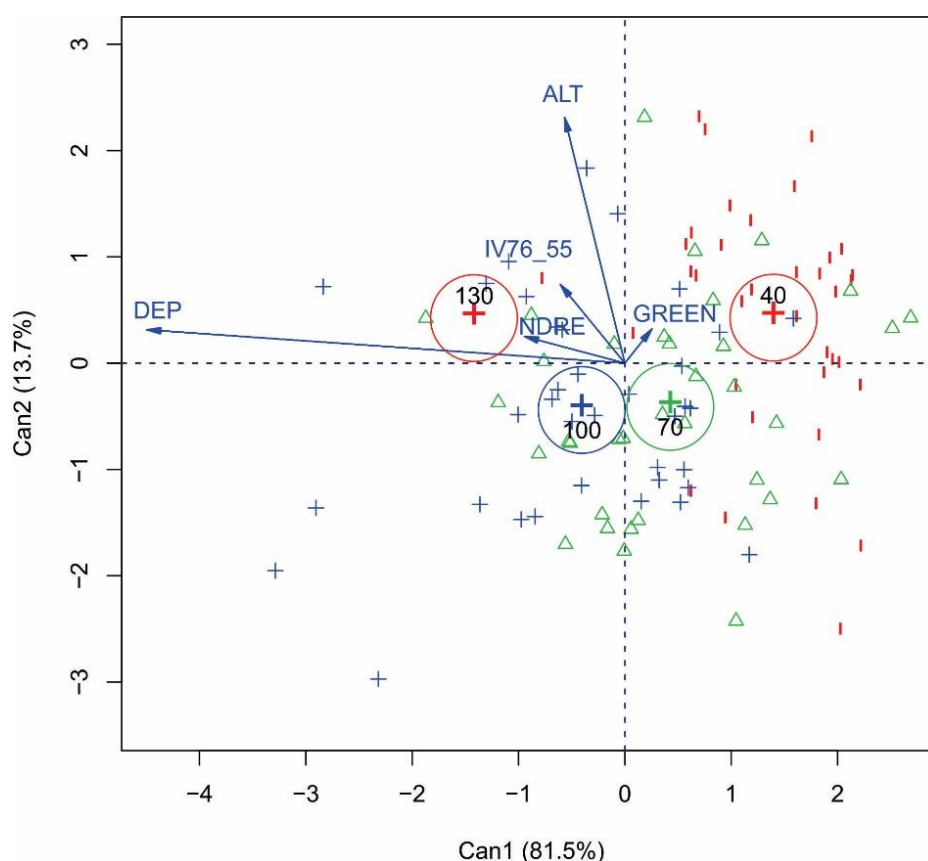


FIGURA 3. Gráfico com as variáveis relacionadas no experimento (ALT, DEP, GREEN, NDRE e IV76_55).

Os mapas dos IV NDRE e IV 760/550 ilustrados na Figura 4 apresentam a variabilidade espacial da massa vegetal do algodoeiro em relação aos três momentos de aplicação (abril, junho e julho). Os mapas apresentados relacionam apenas os IV NDRE e 760/550, devido à forte correlação desses índices com a deposição (DEP), ou seja, uma elevada ligação com a deposição. Observa-se que houve um aumento dos valores dos IV mensurados (40, 70, 100 e 130 DAE) entre abril e junho. Todavia, em julho houve uma diminuição da massa foliar das plantas do algodoeiro, provavelmente em função do avanço do ciclo (Figura 1), ocasionando a diminuição dos valores mensurados dos IV. Esse resultado foi observado por Farid et al. (2017), os quais verificaram que o cultivo do algodoeiro em período com menor pluviosidade e também pelo período de senescência da cultura, o que pode influenciar a produtividade. Observa-se também que o IV 760/550 proporcionou maiores destaques na variabilidade do IV entre as parcelas contendo diferentes taxas de crescimento. Essa variabilidade afetou a deposição da calda nas plantas, conforme planejado.

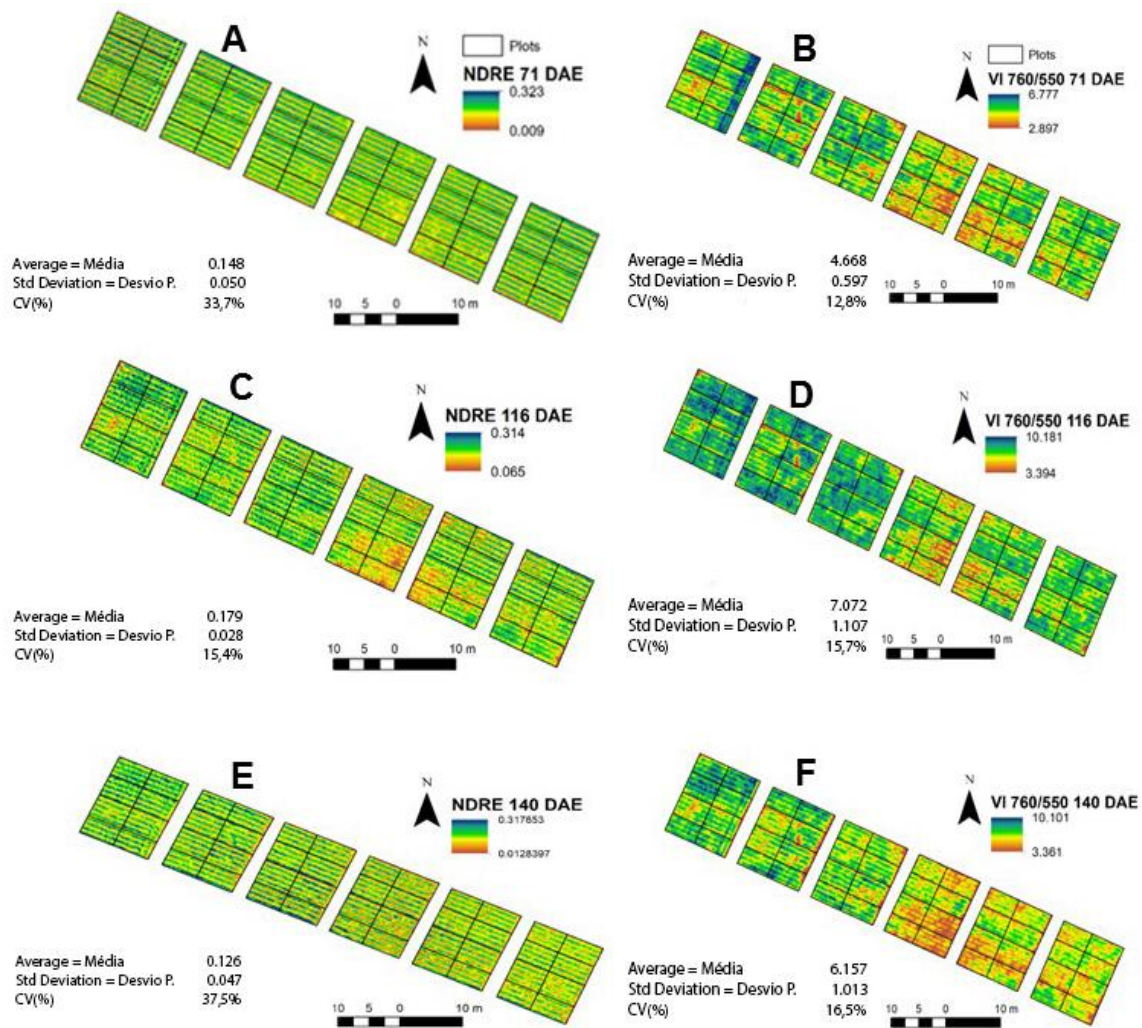


FIGURA 4. Mapas do IVVI NDRE e IV 760/550 na cultura do algodoeiro no ano agrícola de 2017/2018, segundo as mensurações aos 71 dias (A e B), 116 (C e D) e 140 (E e F) DAE

Nas Figuras 5 e 6 verifica-se que a deposição relativa no estrado médio das plantas do algodoeiro possui função linear pelo NDRE (Figura 5) e quadrática pelo IV 760/550 (Figura 6), quando se relaciona os IV e a taxa de aplicação. Os IV obtidos pelo sensor multiespectral Parrot Sequoia proporcionaram ajuste estatístico, com coeficientes de determinação próximos a 0,53 para o NDRE (Figura 5) e a 0,43 para o IV 760/550 (Figura 6).

Mantendo-se uma mesma taxa de aplicação, à medida em que os valores dos IV aumentaram, há tendência da diminuição na deposição relativa, e quando os IV são reduzidos, há tendência de aumento na deposição. Isso ocorre devido aos IV serem correlacionados positivamente com a

biomassa da planta. Provavelmente, as gotas depositadas ficam retidas no terço superior da planta, evidenciando que, quanto maior sua biomassa, menor será a quantidade de calda que irá se depositar no estrato médio da cultura do algodoeiro. Neste mesmo sentido, quando o IV for baixo, pode-se reduzir a taxa de aplicação, aumentando-se a capacidade operacional de campo do pulverizador, sem comprometer a deposição. Semelhante resultado foi observado por Rauber et al. (2018), em trabalho desenvolvido com híbridos de milho e soja, no qual foram utilizados análise canônica e correlação de Person.

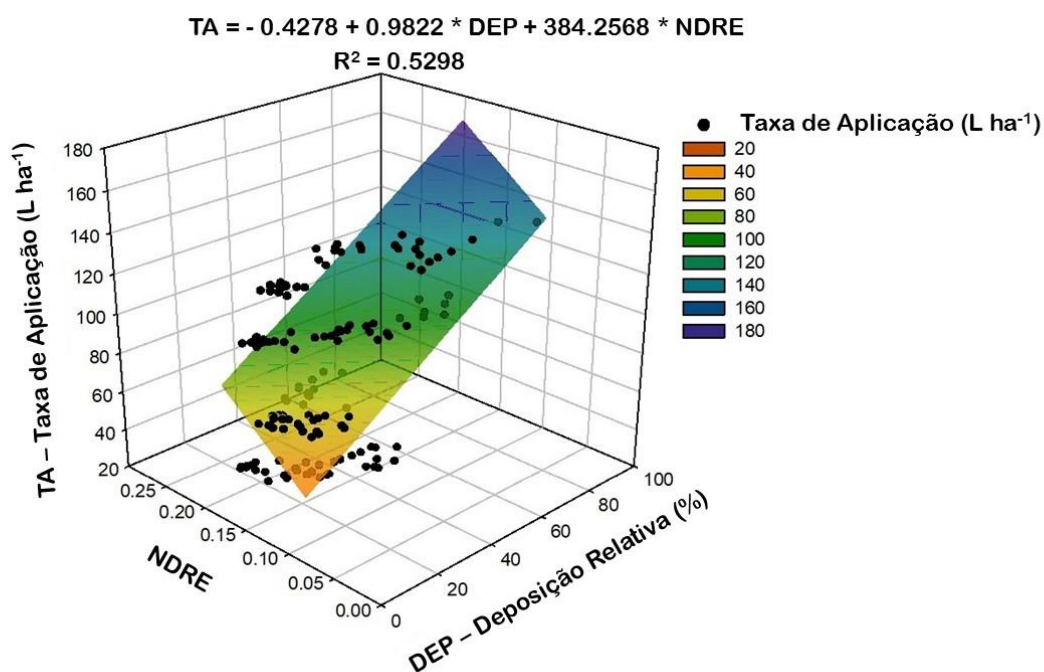


FIGURA 5. Superfície de resposta para a taxa de aplicação (TX) em função da variação do IV NDRE e da deposição de calda relativa (DEP) para o ano agrícola 2017/18 na cultura do algodoeiro.

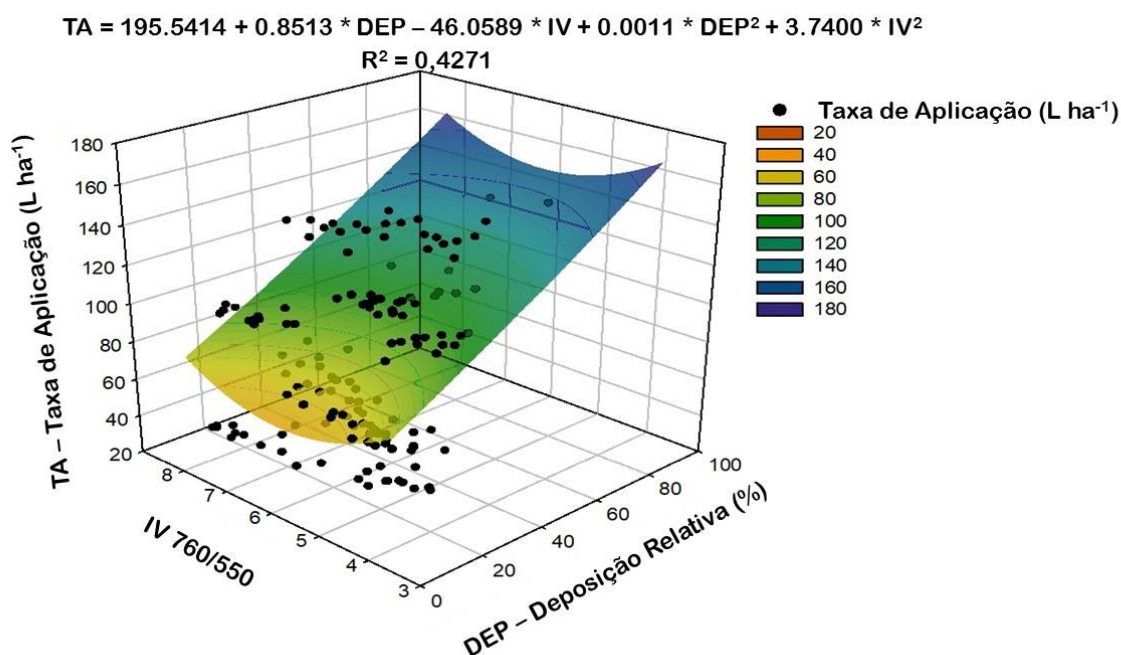


FIGURA 6. Superfície de resposta para a taxa de aplicação (TX) em função da variação do IV 760/550 e da deposição de calda relativa (DEP) para o ano agrícola 2017/18 na cultura do algodoeiro.

Portanto, as equações apresentadas para as interações entre taxa de aplicação (Tx), deposição relativa (Dep) em função do NDRE e IV 760/550, podem ser utilizadas para a determinação da taxa de aplicação na cultura do algodoeiro de acordo com a necessidade de deposição de calda no estrato médio das plantas. Trabalho semelhante sobre determinação de área foliar foi desenvolvido por Ferreira & Neto (2018), em pastagem, constatando-se que os índices de vegetação (NDVI e CVP) foram satisfatórios para evidenciar o grau de degradação neste cultivo. Ficou perceptível, ao se comparar os dois mapas, a melhora que a pastagem teve depois de reduzida sua taxa de lotação. Por meio do estudo a longo prazo dos agricultores e suas atividades, foi possível entender os motivos dessa melhora, corroborando com a análise espacial.

A Figura 7 demonstra a árvore de decisão construída para prever a deposição, em função dos índices de vegetação (NDRE e 760/550) e altura de planta. O primeiro índice analisado é o (760/550), indica que se ele for maior que 0,05, a deposição será 28,3%. Se o índice for menor que 0,05 é necessário analisar a (ALT). Analisando a altura, se o valor for maior que 0,73 m, o resultado da deposição é 62,3%. Por outro lado, é necessário abranger o índice (NDRE) que, se for maior que 0,12

a deposição será 28,8%. Caso contrário, se ele for menor que 0,12 o valor da deposição será igual a 49,4%. Informações semelhantes foram observadas usando árvore de decisão introduzida por algoritmo que possibilitando análise precisa na cultura da cana de açúcar, a qual através das variáveis analisadas, foi possível dar uma resposta precisa (Farhate et al., 2018).

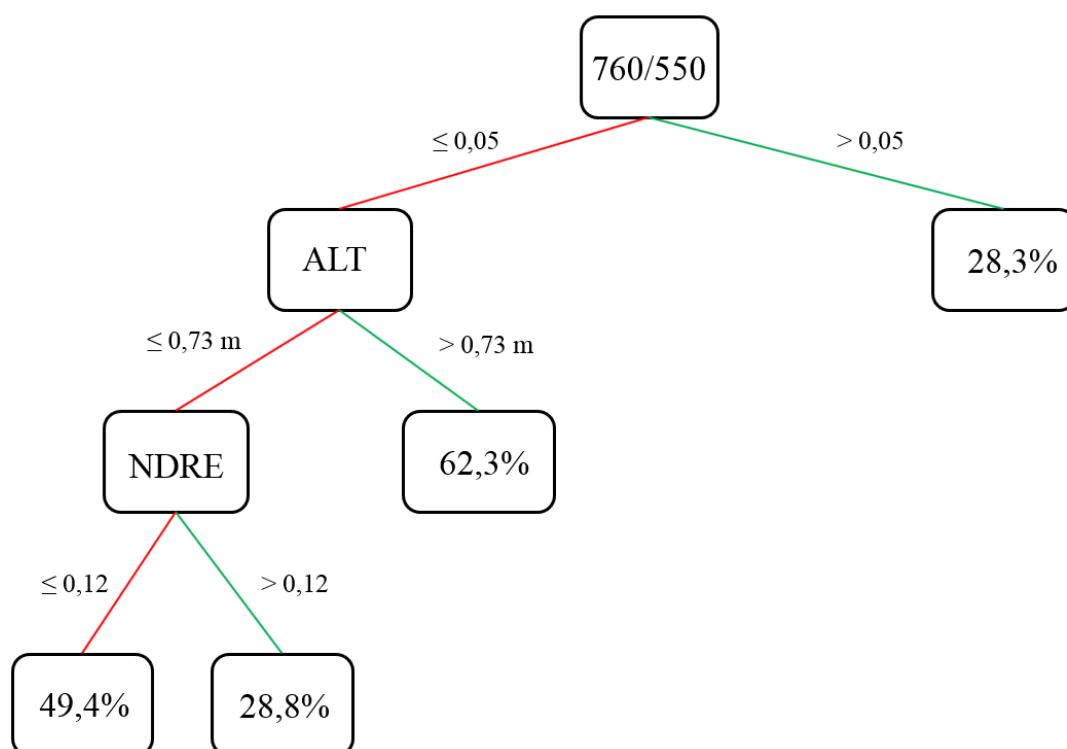


FIGURA 7. Árvore de decisão para deposição relativa (DEP) em função das variáveis massa seca (MS), NDVI e IV760/550 avaliadas na cultura do algodão nos anos agrícolas 2016/2017 e 2017/2018.

CONCLUSÕES

Com o aumento dos índices de vegetação há necessidade de elevação da taxa de aplicação para a manutenção da deposição de calda no estrato médio das plantas do algodoeiro.

Segundo as condições experimentais avaliadas, os dois índices de vegetação com maior relação com a variação da taxa de aplicação foram o NDRE e IV 760/550 para a cultura do algodoeiro.

Foi possível estabelecer uma equação relacionando ao aumento da massa vegetal com a necessidade do aumento da taxa de aplicação.

REFERÊNCIAS

- Alves GS, Cunha JPAR, Palladini LA (2014) Seleção de traçadores para estudos de eficiência das aplicações de produtos fitossanitários. *Planta Daninha* 32(4): 861-870. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582014000400021>
- Andrade CBDE, Oliveira LMMDE, Omena JAM, Villar AC, Gusmão L, Rodrigues DFB (2018) Avaliação de índices de vegetação e características fisiográficas no Sertão Pernambucano. *Revista Brasileira de Meio Ambiente* 4(1):097-107. DOI: <https://revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/104/119>
- Antuniassi UR, Baio FHR (2009) Tecnologia de aplicação de agrotóxicos. In: Vargas L, Roamn E S (Orgs.). Manual de manejo e controle de plantas daninhas. Embrapa Trigo, p173-212.
- Baio FHR, Neves DC, Souza H B, Leite RC, Silva SP, Leal AJF, Molin JP (2018) Variable rate spraying application on cotton using an electronic flow controller. *Precision Agriculture* 19(5) : 912–928. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-018-9564-7>
- Baio FHR, Silva EE, Vrech MA, Souza FHQ, Zanin AR, Teodoro PE (2018b) Vegetation Indices to Estimate Spray Application Rates of Crop Protection Products in Corn. *Agronomy Journal* 110(4):1254. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2017.12.0718>
- Baio FHR, Pettenan AL, Camolese HS, Gabriel RRF (2016) Evaluation of spray deposits with twin flat tip with air induction in two soybean stages. *IDESIA* 34(4):43-48. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-34292016005000018>
- Bhering LL (2017). Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 7(2):187-190. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332017v17n2s29>.
- Camolese HdaS, Baio FHR (2016) Deposição de calda aplicada em volume reduzido no período noturno na cultura do algodoeiro. *Revista Agrarian* 34(9):365-373. DOI: <http://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/4423/3678>

Carvalho LPDE, Rodridues JIDAS, Farias FJC (2017) Seleção de linhagens de algodão para alto teor de óleo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 52(1):530-538. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2017000700007>

Cunha JPAR, Victor AP, Sales CGR (2018) Spray deposition on soybean crop using different travel speeds and application rates. *Engenharia Agrícola* 38(1): 82-87. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v38n1p82-87/2018>

Farhate CVV, Souza ZMDE, Oliveira SRDEM, Carvalho JLN, Júnior NLS, Santos APG (2018) Classification of soil respiration in areas of sugarcane renewal using decision tree. *Scientia Agricola* 75(3):216-224. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992x-2016-0473>

Farid MA, Ijaz M, Hussain S, Hussain M, Farooq O, Sattar A, Sher A, Wajid A, Ullah A, Faiz MR (2017) Growth and yield response of cotton cultivars at different planting dates. *Pakistan Journal of Life & Social Sciences* 15(3): 158-162.

Ferreira ACDEB, Borin ALDC, Brito GGDE, Filho LDAS, Bogiani JC (2015) Épocas de semeadura, cultivares e densidades de plantas para algodão adensado em segunda safra. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 45(4):397-405. DOI: <http://www.scielo.br/pdf/pat/v45n4/1517-6398-pat-45-04-0397.pdf>

Ferreira GCV, Neto JAF (2018) Usos de geoprocessamento na avaliação de degradação de pastagens no assentamento ilha do coco. *Revista Engenharia na Agricultura* 26(2):140-148. DOI: <https://periodicos.ufv.br/ojs/reveng/article/view/797/pdf>

Freire EC (2015) Associação brasileira dos produtores de algodão. Algodão no cerrado do Brasil. 3. edição revista e ampliada. Gráfica e Editora Positiva. 956 p. il. color.

Inmet (2019) Instituto nacional de meteorologia. Disponível: http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTczMA== --. Acessado em 11 de Fevereiro de 2019.

Gitelson, A. A., Merzlyak, M. N (1994) Quantitative estimation of chlorophyll using reflectance spectra. *Journal of Photochemistry and Photobiology, Biology*, 22(3), p247–252.

- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., Merzlyak, M. N (1996) Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), p289-298.
- Gitelson, A. A., Merzlyak, M. N. (1997) Remote estimation of chlorophyll content in higher plant leaves. *International Journal of Remote Sensing*, 18(12), p291-298.
- Minolta, O. (1989). Manual for chlorophyll meter SPAD 502, 22p.
- Jiang YLC, Paterson AH, Sun S, Xu R, Robertson J (2018) Quantitative Analysis of Cotton Canopy Size in Field Conditions Using a Consumer-Grade RGB-D Camera. *Frontiers in Plant Science* 8:2017-2033. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02233>
- Moreira FM, Aleixo DVBS, Bisi PHS, Franchi LF, Sant'ana RCG (2018) Construção colaborativa de representações para a disseminação de dados agrícolas: Um estudo do Portal CoDAF. *Revista Eletrônica de Biblioteconomia e Ciência da Informação* 52(23):61-72.
- Nascimento WF, Costa JSJA, Peixoto PPP, Duarte NDL (2018) Effects temperature on soybean and corn in Mato Grosso do Sul. *Investigación Agraria* 20(1):30-37. DOI: <http://dx.doi.org/10.18004/investig.agrar.2018.junio.30-37>
- Portz G, Molin JP, Jasper J (2012) Sensor de cultivo ativo para detectar a variabilidade do suprimento de nitrogênio e biomassa nos campos de cana-de-açúcar. *Precision Agriculture* 13(2):33-44. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-011-9243-4>
- Ramirez MB, Allen PB, Freeland RS, Wilkerson JB (2017) Cotton canopy ndvi: reducing the ground exposure effect. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* 60(2):293-301. DOI: <https://doi.org/10.13031/trans.10950>
- Raper TB, Varco JJ (2015) Comprimento de onda em escala de dossel e sensibilidade ao índice vegetativo para parâmetros de crescimento do algodão e status de nitrogênio. *Precision Agriculture* 16(1):62-76. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-014-9383-4>

Rauber RB, Demaría MR, Jobbágy EG, Arroyo DN, Poggio SL (2018) Weed communities in semiarid rainfed croplands of central Argentina: comparison between corn (*Zea mays*) and soybean (*Glycine max*) crops. *Weed Biology and Ecology* 66(3):368-378. DOI: <https://doi.org/10.1017/wsc.2017.76>

Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. (1973) Monitoramento de sistemas de vegetação nas grandes planícies com ERTS. Em: ERTS SYMPOSIUM, 3, 1973, Washington: NASA, 1973. v. 1, p309-317.