



**INSTITUTO FEDERAL**

Goiano

Campus Rio Verde

**BACHAREL EM AGRONOMIA**

**ÍNDICES DE VEGETAÇÃO OBTIDOS COM CÂMERA  
MULTIESPECTRAL RELACIONADOS COM ADUBAÇÃO  
NITROGENADA E PRODUTIVIDADE NO MILHO**

**ALICE MARIA ALBERT**

**Rio Verde, GO**

**2020**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE**

**CURSO SUPERIOR DE AGRONOMIA**

**ÍNDICES DE VEGETAÇÃO OBTIDOS COM CÂMERA  
MULTIESPECTRAL RELACIONADOS COM ADUBAÇÃO  
NITROGENADA E PRODUTIVIDADE NO MILHO**

**ALICE MARIA ALBERT**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Instituto Federal Goiano - Campus Rio  
Verde, como requisito parcial para a obtenção  
do Grau de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Castoldi

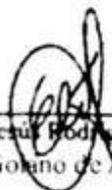
Rio Verde – GO

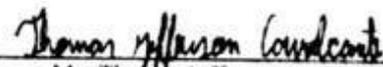
Fevereiro, 2020

ALICE MARIA ALBERT

ÍNDICES DE VEGETAÇÃO OBTIDOS COM CÂMERA  
MULTIESPECTRAL RELACIONADOS COM ADUBAÇÃO  
NITROGENADA E PRODUTIVIDADE NO MILHO

Trabalho de Curso DEFENDIDO e APROVADO em 05 de Janeiro de 2020  
pela Banca Examinadora constituída pelos membros:

  
\_\_\_\_\_  
Me. Elio de Jesús Rodríguez de la Torre  
Instituto Goiano de Agricultura

  
\_\_\_\_\_  
Me. Thomas Jefferson Cavaivante  
Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Gustavo Castoldi  
Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde

Rio Verde – GO

Janeiro, 2020

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
**Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano**

AAL333      Albert, Alice Maria Albert  
Í      ÍNDICES DE VEGETAÇÃO OBTIDOS COM CÂMERA  
MULTIESPECTRAL RELACIONADOS COM ADUBAÇÃO NITROGENADA  
E PRODUTIVIDADE NO MILHO / Alice Maria Albert  
Albert; orientador Gustavo Castoldi Castoldi. -- Rio  
Verde, 2020.  
35 p.

Monografia ( em Agronomia) -- Instituto Federal  
Goiano, Campus Rio Verde, 2020.

1. Zea mays. 2. Índices de vegetação. 3. estádios  
fenológicos. I. Castoldi, Gustavo Castoldi , orient.  
II. Título.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Jesus Cristo por me conceder os ensinamentos da vida, pela saúde e por sempre me iluminar, me proteger e me guiar durante as minhas caminhadas.

Aos meus pais, Jose Garibaldi e Lenir Madalena, por sempre estarem ao meu lado me educando e me ensinando que a única coisa que ninguém rouba neste mundo é a educação. Por nunca medirem esforços para me proporcionarem uma educação de qualidade e pelos exemplos e ensinamentos compartilhados.

Ao meu irmão Ruiz Berft, que também foi uma das peças chaves por me fazer ser uma pessoa melhor no mundo, sempre fez de tudo para que eu me empenhasse ao máximo na minha educação e além de impulsionar para correr atrás dos meus objetivos, sendo estes as vezes muito difíceis,

Aos meus avôs, Seu Eduardo Berft e Dona Celanira Berft, que foram meus exemplos de humildade e simplicidade, e, também sempre estiveram ao meu lado me apoiando em todas minhas decisões. A minha tia Mara Albert, por estar ao meu lado desde pequena, sendo uma segunda mãe para mim, que sempre orou e vigiou por mim.

Ao meu professor orientador Dr. Gustavo Castoldi, pelas inúmeras horas de orientação desde o terceiro período, pela dedicação e pela compreensão, se tornando um amigo indispensável que sempre me apoiou e me proporcionou conselhos seja eles profissionais como também pessoais que levarei para toda a vida.

A todos os antigos amigos e aqueles construídos no decorrer destes cinco anos de graduação, por todo o companheirismo, horas de estudo e por todos os momentos de descontração que vivi com cada um de vocês.

Ao Laboratório de Química Agrícola e ao Laboratório de Drones e Vants na Agricultura do IF Goiano - Campus Rio Verde que me forneceu espaço, estrutura e equipamentos imprescindíveis para condução e avaliação do trabalho, bem como toda a equipe do mesmo pelo auxílio na execução deste. A toda a equipe que esteve comigo nesses quase quatro anos de iniciação, como também os que passaram no laboratório e acrescentaram na minha vida.

Ao coordenador do curso de Agronomia, professor Fernando Higino, pela sua dedicação e apoio com todos os alunos. Ao Instituto Federal Goiano de Educação, Ciência e Tecnologia pela oportunidade de cursar um curso superior e também a todo o corpo docente e demais servidores da instituição que, de alguma forma, contribuíram ao longo do curso, para aprimorar meu conhecimento.

## RESUMO

ALBERT, Alice Maria. **Índices de vegetação obtidos com câmera multiespectral relacionados com adubação nitrogenada e produtividade no milho**. 2020. 36p. Monografia (Curso de Bacharelado em Agronomia). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, GO, 2020. Objetivou-se verificar índices de vegetação obtidos por imagens realizada com Vant, podem detectar alterações de status de N em plantas de milho, bem como se correlacionam com a produtividade. O delineamento experimental foi de blocos ao caso sendo 5 doses (0, 75, 150, 225 e 300 kg ha<sup>-1</sup>) de N (ureia tratada com inibidor de uréase) aplicado em cobertura e 4 repetições. Para as avaliações foram realizadas coletas da parte vegetal da planta, onde destacou-se as folhas no terço médio da planta de milho nos estádios V3, V6 e V9, foi realizado também voo com o drone modelo DJI Inspire 2, equipado com uma câmera multiespectral (Sentera) nos três estádios fenológicos de coleta. Na colheita foram colhidas as espigas de milho de 4 linhas de 2 metros (centro da parcela). Em seguida foi contado o número de fileira e números de grãos por fileira das espigas colhidas, além de serem trilhadas e os grãos pesados e corrigidos a 13% de umidade, calculando-se a produtividade em kg.ha<sup>-1</sup>. As plantas cultivadas sobre um aporte maior de nitrogênio acumularam conseqüentemente quantidades maiores do teor de N na folha, no estádio V6 e V9 a maior acumulação é nas doses de 225 kg.ha<sup>-1</sup> (52,09 g.kg de N) e 300 kg.ha<sup>-1</sup> (37,48 g.kg de N), respectivamente. O índice  $DI1_{\text{modificado}}$  foi o que mais se destacou nos dois estádios fenológicos avaliados, por conta de trabalhar com bandas estreitas no infravermelho (825nm) e no verde (586nm). Já na produtividade do milho safrinha, nenhum índice vegetativo calculado foi significativo. Concluiu-se que o índice  $DI1_{\text{modificado}}$  foi o que mais colaborou a predizer a quantificação de adubação nitrogenada no milho safrinha.

**Palavras-chave:** *Zea mays*, Índices de vegetação, Estádios fenológicos, Vants.

## LISTA DE ABREVIACOES E SÍMBOLOS

Ca	Cálcio
DII <small>modificado</small>	Difference Index 1
DVI	Difference Vegetation Index
KCl	Cloreto de Potássio
K <sub>2</sub> O	Potássio
LDVA	Laboratório de Drones e Vants
MPRI	Modified Photochemical Reflectance Index
MTVI	Modified Triangular Vegetation Index
N	Nitrogênio
NDRE	Normalized Difference Red Edge Index
NDVI	Normalized Difference Vegetaion Index
NIR	Infravermelho Próximo
nm	Nanmetro
REM	Radiao Eletromagnética
S	Enxofe
SFS	Super Fosfato Simples
Vants	Veiculo Aéreo Não Tripulado
V3	3 <sup>a</sup> folha totalmente desenvolvida
V6	6 <sup>a</sup> folha totalmente desenvolvida
V9	9 <sup>a</sup> folha totalmente desenvolvida

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Estádios vegetativos e reprodutivos da planta de milho ( <i>Zea mays</i> ) .....	12
<b>Tabela 2.</b> Caracterização química e granulométrica nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm na área experimental .....	17
<b>Tabela 3.</b> Índices calculados a partir de imagens multiespectrais a bordo de um Vant .....	20
<b>Tabela 4.</b> Correlação de Pearson (r) entre os índices de vegetação calculados e a produtividade do milho nos estádios V6 e V9 .....	27

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Semeadura mecânica do ensaio, Híbrido DKB390, espaçamento entrelinhas de 50 cm. Rio Verde, GO, Brasil. 2019.....18
- Figura 2.** Planta de milho em V3 (a), e ureia sendo aplicada em cobertura (b)..... 18
- Figura 3.** Drone DJI Inspire 2 embarcado com uma câmera multiespectral (Sentera) sobrevoando a área do experimento .....19
- Figura 4.** Teor de nitrogênio (N) em folhas de milho, nos estádios V3 (a), V6 (b) e V9 (c), em função de doses de N aplicadas em cobertura (estádio V3). ..... 21
- Figura 5.** Índices de vegetação (calculados a partir de sensor multiespectral Sentera) de plantas de milho (estádio V6) em função de doses de nitrogênio (N) aplicadas em cobertura (estádio V3) ..... 23
- Figura 6.** Índices de vegetação (calculados a partir de sensor multiespectral Sentera) de plantas de milho (estádio V9) em função de doses de nitrogênio (N) aplicadas em cobertura (estádio V3) ..... 26

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>12</b>
2.1 A importância da cultura do milho .....	12
2.2 Adubação nitrogenada na cultura do milho.....	13
2.3 Sensoriamento remoto na agricultura .....	14
2.4 Uso de Vants para a quantificação de nitrogênio .....	15
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>17</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>21</b>
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>28</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>29</b>
<b>7 ANEXOS.....</b>	<b>36</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais de grande importância tanto na alimentação humana quanto animal, estando na segunda posição de maior produção de grãos (98.409,3 mil t) no ano de 2019, sendo que o estado de Goiás foi responsável pela produção de 10.884,9 mil toneladas deste montante. Porém, a produção de milho no estado se divide em duas épocas, sendo primeira safra/safra com uma produção 2.312,6 mil toneladas e segunda safra/safrinha sendo constatada a produção de 8.572,3 mil toneladas (CONAB, 2019).

Para se obter um maior potencial do milho é necessário o suprimento adequado do nitrogênio (N), visto que é um dos nutrientes mais exigidos pela cultura em todo seu ciclo, e quando este é suprido de forma inadequada tem-se como resultados um baixo rendimento de grãos na cultura (SILVA; SILVA; LIBALDI, 2013). Assim, plantas que possuem ótimo suprimento de N tendem a ter ótimo desenvolvimento radicular, como também uma elevada produção. Deste modo, fica evidente a alta necessidade do milho à N, pois o mesmo exerce importantes funções nos processos bioquímicos, como também é o constituinte de proteínas, fitocromos, ácidos nucléicos, coenzimas e clorofila (FORNASIERI FILHO, 2007).

Atualmente, a recomendação de adubação nitrogenada a ser aplicada na cultura do milho obedece a três parâmetros: teor de matéria orgânica no solo, sucessão de culturas e histórico da lavoura (CERETTA, et al., 2002). O emprego de sensoriamento remoto por sua vez pode contribuir na estimativa de alterações do status de N na produção da cultura, através de análises não destrutivas, além de ser capaz de cobrir grandes áreas, possuindo resultados rápidos e eficazes tornando-se uma ótima alternativa (RISSINI; KAWAKAMI; GENÚ, 2015). Por ser uma ferramenta oportuna e não destrutiva, pode auxiliar como indicador indireto do status nutricional da cultura, bem como o potencial produtivo, por ter a capacidade de capturar a reflectância do dossel da planta, os resultados são mais rápidos, pela capacidade e facilidade de amostrar uma área muito mais abrangente e não somente uma planta individual (SERRANO et al., 2000; FENG et al., 2007).

O sensoriamento remoto que se é realizado com aviões e satélites podem ser também obtidos com o uso de Vants (Veículo Aéreo Não Tripulado) embarcados com diferentes tipos de sensores, tais como câmeras RGB, termais, multiespectrais e hiperespectrais. Estes sensores possuem diferentes comprimentos de onda, que abrangem a região do visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas (JORGE & INAMASU, 2014). E com a ajuda destes sensores é possível a realização de cálculos combinados com as diferentes bandas que irá proporcionar os índices de vegetação, estes que podem ser correlacionados com o status da

planta, cobertura do solo, produtividade e deficiência de nutrientes. (GABRIEL et al., 2017).

Diante do exposto, objetivou-se verificar se índices de vegetação obtidos via imagens aéreas pode detectar alterações no status de N em plantas de milho, bem como se se correlacionam com a produtividade de grãos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A importância da cultura do milho

O milho é uma gramínea, pertencente à família das Poacea da espécie *Zea mays*, é uma das plantas mais eficientes para armazenar energia, isso ocorre pela facilidade que a planta possui em acumular fotoassimilados. É uma cultura anual de 110 a 180 dias dependendo do híbrido para condições brasileiras, de alto rendimento e cultivado desde da região norte do Canadá até o sul na Argentina (FORNASIERI FILHO, 2007). O milho possui alguns estádios de desenvolvimento e estes são caracterizados por mudanças morfofisiológicas identificáveis que ocorrem em todo o ciclo da cultura. Na tabela 1 tem-se a descrição detalhada de cada estádio.

**Tabela 1.** Estádios vegetativos e reprodutivos da planta de milho (*Zea mays*).

<b>Vegetativos</b>	<b>Reprodutivos</b>
VE – Emergência	RI – Florescimento
VI – Primeira folha totalmente desenvolvida	R2 – Grão bolha d’água
V2 – Segunda folha totalmente desenvolvida	R3 – Grão leitoso
V3 – Terceira folha totalmente desenvolvida	R4 – Grão pastoso
V6 – Sexta folha totalmente desenvolvida	R5 – Grão farináceo
V9 – Nona folha totalmente desenvolvida	R6 – Maturidade fisiológica
V12 – Décima segunda folha totalmente desenvolvida	
V15 – Décima quinta folha totalmente desenvolvida	
V18 – Décima oitava folha totalmente desenvolvida	
VT – Pendoamento	

Fonte: Ritchie *et al.*, (2013).

É um cereal que possui alto valor nutricional, sendo largamente utilizado na alimentação humana como também na composição de rações para alimentação animal. Esta cultura agrícola é cultivada em todo o território brasileiro, se tornando de grande importância no papel socioeconômico pelo seu grande volume de produção e extensão de área (VELOSO, et al., 2016). O milho é um dos principais cereais cultivados no mundo sendo o 2º maior cereal cultivado no Brasil, estando abaixo apenas da cultura da Soja (CONAB, 2019). E, no Brasil o mesmo é cultivado em duas safras agrícolas, a primeira safra, semeada entre os períodos de setembro a dezembro, segunda safra, conhecida como safrinha, semeada entre os meses de janeiro e fevereiro.

O Brasil se encontra no 3º lugar no ranking em produção mundial (101, 0 milhões de toneladas), na safra 2019/20 estando abaixo apenas dos Estados Unidos e da China, em contrapartida o Brasil se tornou o segundo maior exportado mundial do cereal (36 milhões de toneladas), há 10 anos, o país detinha apenas 1% do mercado mundial e agora no ano de 2019 é responsável por cerca de 25% do total global das vendas do milho (FAO,2019; FIESP, 2019).

## **2.2 Adubação nitrogenada na cultura do milho**

O nitrogênio é conhecido como sendo um dos elementos mais exigidos e fornecidos em sistemas agrícolas, tem a capacidade de aumentar a produção de grãos na cultura do milho, como também o mesmo constitui importante moléculas, sendo estas proteínas, coenzimas, enzimas, ácidos nucléicos, e a mais importante delas, a clorofila (GROSS, et al.,2006; ANDREUCCI, 2007). Na prática, a quantificação de requerimento da planta de milho pelo nitrogênio é uma tarefa bem difícil de se realizar, em razão do seus elevados riscos ambientais, pois este nutriente esta suscetível a perdas de lixiviação, volatilização e desnitrificação, para tanto a quantificação do mesmo deve ser a mais exata possível, para evitar os riscos ambientais, como também, minimizar os déficits que comprometem o rendimento da produção (AMADO, MIELNICZUK & AITA,2002).

Para um eficiente manejo na adubação nitrogenada, é de fundamental importância o conhecimento das diferentes fases de crescimento do milho, e estas fases podem ser divididas em dois grandes estádios, o vegetativo (V), onde ocorre o desenvolvimento da planta, e o estádio reprodutivo (R), que se refere no geral o desenvolvimento da espiga de milho.

Atualmente a adubação nitrogenada realizada na cultura do milho é feita com o uso de 30-40 kg ha<sup>-1</sup> na adubação de semeadura e o restante quando a planta se situa no estádio fenológico V3 a V4, momento que é realizado a adubação de N em cobertura, levando em conta a expectativa da produtividade desejada da cultura, conforme a literatura (YAMADA, 1995; RIBEIRO et al., 1999; SOUSA & LOBATO, 2004). O Nitrogênio é o nutriente que a cultura do milho mais necessita, sendo absorvido em grandes quantidades pela planta (CAIRES & MILLA, 2016). O mesmo é considerado um dos maiores fatores que determinam a produção, além de ser responsável também pelo aumento da produtividade e da proteína dos grãos de milho (YAMADA, 2000; FAQUIN, 2005).

A recomendação de adubação nitrogenada será sempre uma aproximação do que a real cultura precisa, pois a disponibilidade deste nutriente no solo varia em funções de diversos fatores: teor de umidade, tipo de fertilizante, temperatura do solo e práticas de manejo na

cultura, sendo muito difícil determinar a quantidade exata de N que o milho necessita para atingir sua produção máxima (YAMADA, 2000). E é neste contexto que as técnicas de sensoriamento remoto podem ser aplicadas, pois com a quantidade de radiação refletida pela planta é possível monitorar as fases de desenvolvimento e crescimento da planta, os resultados desse monitoramento influenciará na tomada de decisões, como exemplo a correção de solo e a quantificação de N na planta do milho e com está quantificação é possível chegar muito próximo a quantidade que a planta necessita deste nutriente (ANDRADE et al., 2019).

### **2.3 Sensoriamento remoto na agricultura**

O sensoriamento remoto é o conjunto de atividades que permite a obtenção de informação de objetos que se encontram na superfície terrestre sem a necessidade de contato direto com estes. As atividades que envolvem este ramo são aquisições e análises da energia eletromagnética podendo essas ser emitidas ou refletidas pelo objeto estudado. Esta energia quando utilizada para a obtenção de dados de sensoriamento remoto é também conhecida como radiação eletromagnética (FIGUEIREDO, 2005).

Os sensores remotos podem ser acoplados em diferentes plataformas, como, satélites, aviões, drones, tratores e pulverizadores, para fornecer informações na agricultura de precisão (FOX & WALTHALL, 2008). Entende-se então que sensoriamento remoto não é somente imagens oriundas de satélites, mas também as imagens obtidas através de plataformas aerotransportadoras, como aerofotogrametria analógica e digital, e o uso de veículos aéreos não tripuladas, mais conhecidos como Vants (DE ALMEIDA, 2010; SHIRATSUCHI, 2014).

Uma das áreas mais importantes do sensoriamento é a radiometria espectral, no geral esta área tem a capacidade de identificar a intensidade que o alvo tem de refletir sua radiação eletromagnética em diferentes comprimentos de onda do espectro. E é deste modo que dados reflectância estão sendo correlacionados com as características das plantas, pois a mesma tem a capacidade de refletir radiação eletromagnética que podem ser estudadas (SHIRATSUCHI, 2014). E com essa reflectância emitida pelas plantas é possível a utilização dos índices de vegetação para identificação de estresse da vegetação, e os mesmos podem ser utilizados para identificação de áreas afetadas por pragas e doenças, perdas causadas por animais silvestres, falha de plantio e deficiências nutricionais da vegetação (ANDRADE et al., 2019).

O sensoriamento remoto na agricultura de precisão está sendo muito bem utilizado de maneira eficiente e rápida da coleta de dados de grandes áreas agrícolas, e, juntamente os drones vieram para complementar ainda mais as informações obtidas via satélite, pois o mesmo possui

a capacidade de captar imagens com resoluções ainda melhores em escala de centímetros, como também permitir voos em intervalos curtos de tempo onde se consegue evitar a presença de sombra e nuvens nas imagens (ARANTES, 2019).

#### **2.4 Uso de Vants para a quantificação de nitrogênio**

Os Vants ou mais conhecidos como drones, que são aeronaves não tripuladas, estão cada vez mais sendo utilizados na agricultura, antigamente este era utilizado como instrumento de defesa nas guerras, hoje ganhou uma causa nobre, sendo utilizado para ajudar no aumento da oferta mundial de alimentos, monitorando extensas áreas agricultáveis, como eucalipto, cana-de-açúcar, soja, milho e algodão (SHIRATSUCHI, 2014).

Captando simples imagens com os drones já é possível obter análises da evolução do cultivo, falha de plantio, reboleiras, etc. E com a utilização de câmeras multi e hiperespectral embarcadas nas plataformas dos Vants, é possível obter mapas topográficos, medição de altura das plantas, mapeamento de ervas daninhas e detecção de deficiência de macronutrientes nas plantas, como o nitrogênio (ANDRADE et al., 2019).

As câmeras multiespectrais estão sendo muito utilizadas para análise de plantas, as imagens que são captadas se encontram fora do espectro do visível, estas possuem informações espaciais (X e Y) e na dimensão espectral (Z), simultaneamente (BARBOSA et al., 2016). Com a captura dessas imagens em câmeras específicas, é possível a realização de diferentes análises na cultura que está sendo estudada, como também na aplicação de índices de vegetação. Existe uma grande quantidade de índices que são utilizados, como os que caracterizam a estrutura do dossel da planta, cobertura de solo, biomassa acima do solo, déficit hídrico, deficiência de nutrientes, estes índices de vegetação são obtidos através de cálculos, onde se combina os comprimentos de onda na faixa do visível, vermelho próximo e do infravermelho (GABRIEL et al., 2017). O mais utilizado atualmente é o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) que tem como objetivo a caracterização da estrutura do dossel das plantas e tem sido utilizado para a recomendação de nitrogênio em diferentes culturas.

Porém existem outros índices que podem ajudar na recomendação de nitrogênio nas plantas, como o MPRI ((Modified Photochemical Reflectance Index), o qual avalia a diferença da região do verde e do vermelho, com o intuito de realçar o tom de verde na cultura, o MTVII (Modified Triangular Vegetation Index) que possui a capacidade de realçar as evidências das formações vegetais (ALBUQUERQUE, 2013; FRANCHINI et al., 2018,). O DVI (Difference Vegetation Index) que é a diferença da região do infravermelho (Nir) com a

região do visível (Red) e o índice DI1 (Difference Index 1) que calcula a banda estreita da região 800nm com a 500nm.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado a campo na Fazenda Rio Verdinho 3 barras, localizada no município de Rio Verde, GO, nas coordenadas 17°48'33.9"S 51°09'16.5"W. O clima da região é tropical, com chuvas concentradas no verão (outubro a abril) e um período seco bem definido durante a estação de inverno (maio a setembro). A temperatura média anual varia de 20°C a 35°C.

O solo do campo experimental foi classificado como um latossolo vermelho de textura argilosa (LEMOS & SANTOS, 1996). Anterior à instalação do experimento realizou-se amostragem do solo da área experimental nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm para a caracterização química (RAIJ ET AL., 2001) e granulométrica (EMBRAPA-SNLCS, 1979) (Tabela 2).

**Tabela 2.** Caracterização química e granulométrica nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm na área experimental.

Fator	Profundidade (cm)	
	0 – 10	10 – 20
pH (CaCl <sub>2</sub> )	5,5	5,2
P (mg dm <sup>-3</sup> )	10,18	5,66
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,27	0,18
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,53	1,79
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,47	0,70
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,0	0,0
H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,54	1,73
M.O. (g dm <sup>-3</sup> )	47,5	33,3
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,27	2,67
CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	4,81	4,40
V (%)	68	33
Areia (%)	46	38
Silte (%)	17	12
Argila (%)	37	50

O delineamento experimental foi de blocos ao caso, sendo os tratamentos 5 doses de N (0, 75, 150, 225 e 300 kg ha<sup>-1</sup>) aplicadas em cobertura, e 4 repetições. O experimento foi instalado no dia 23/01/2019, e o híbrido utilizado foi o Dekalb DKB390, semeado mecanicamente com espaçamento entrelinhas de 50 cm e população esperada de 60.000 pl ha<sup>-1</sup> (Figura 1).

**Figura 1.** Semeadura mecânica do ensaio, Híbrido DKB390, espaçamento entrelinhas de 50 cm. Rio Verde, GO, Brasil. 2019.



Na sementeira, a adubação no sulco contou com  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de super fosfato simples (SFS) (que possui na sua formulação 20% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 6% de cálcio (Ca) e 10% de enxofre (S)) e  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de cloreto de potássio (KCl), que contém 60% de  $\text{K}_2\text{O}$ .

No dia 07/02/2019, quando as plantas se encontravam no estágio V3, foi realizado manualmente a adubação nitrogenada de cobertura, em função da disposição dos tratamentos. Utilizou-se como fonte de N, ureia tratada com inibidor de uréase (45% de N).

**Figura 2.** Planta de milho em V3 (a), e ureia sendo aplicada em cobertura (b).



Ainda por ocasião de V3 foram amostradas folhas para fins de posterior análise de N. Coletou-se o terço médio das folhas que definem o estágio de desenvolvimento da planta. No mesmo dia realizou-se também foram obtidas imagens aéreas do ensaio, via voo com um drone modelo DJI Inspire 2 equipado com uma câmera multiespectral modelo Sentera (Figura 3).

**Figura 3.** Drone DJI Inspire 2 embarcado com uma câmera multiespectral (Sentera) sobrevoando a área do experimento.



Quando a cultura se encontrava no estágio V6 (25/02/2019) e no estágio V9 (13/03/2019), novas amostragens de folhas foram realizadas, bem como novas imagens aéreas foram obtidas, de igual modo como descrito anteriormente. Todas as folhas amostradas foram secas em estufa de circulação contínuo a 65°C por 4 dias depois foram moídas e por fim analisadas conforme Embrapa Solos, 2000.

A câmera Sentera possui seis sensores de imagem independentes que capturam bandas estreitas do comprimento de onda de 586, 615, 661, 775 e 825 nm, dois sensores na banda do vermelho próximo, sendo estes, o NDVI, contendo uma banda Vermelha (NDVI) de 625 nm e uma Nir (NDVI) de 850 nm, além do sensor NDRE contendo outra banda Nir (NDRE) de 840 nm e a banda RedEdge de 720 nm, e mais as bandas do RGB (Red, Green e Blue). O plano de voo foi realizado no aplicativo FieldAgent™. Neste aplicativo ajustou-se alguns parâmetros de voo, tais com altura do voo de 30 m e sobreposição frontal e lateral de 80%, o que resultou em tamanho de pixel de 3 cm e velocidade de voo de 8 m/s<sup>2</sup>. Todos os voos foram executados das 10h00 até no máximo 14h00, para evitar a ocorrência de sombra geradas pelas plantas.

As imagens foram processadas no software Pix4D versão 3.1.22, no Laboratório de Drones e Vants na Agricultura (LDVA) do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, e

depois de ortorretificadas foram analisadas no software QGIS versão 3.8.1. No QGIS delimitou-se nas imagens de cada estádio da planta as parcelas do experimento (5m x 4m), e em cada parcela foi retirado o solo da imagem para que ficasse apenas a parte de vegetação a fim de calcular os índices de vegetação (DVI, DI1, NDVI, MPRI, MTVI), usando as equações na Tabela 3 e posteriormente foi realizado uma média dos valores obtidos dos índices no próprio QGIS.

**Tabela 3.** Índices de vegetação calculados a partir de imagens obtidas com um sensor multiespectral Sentera a bordo de um Vant.

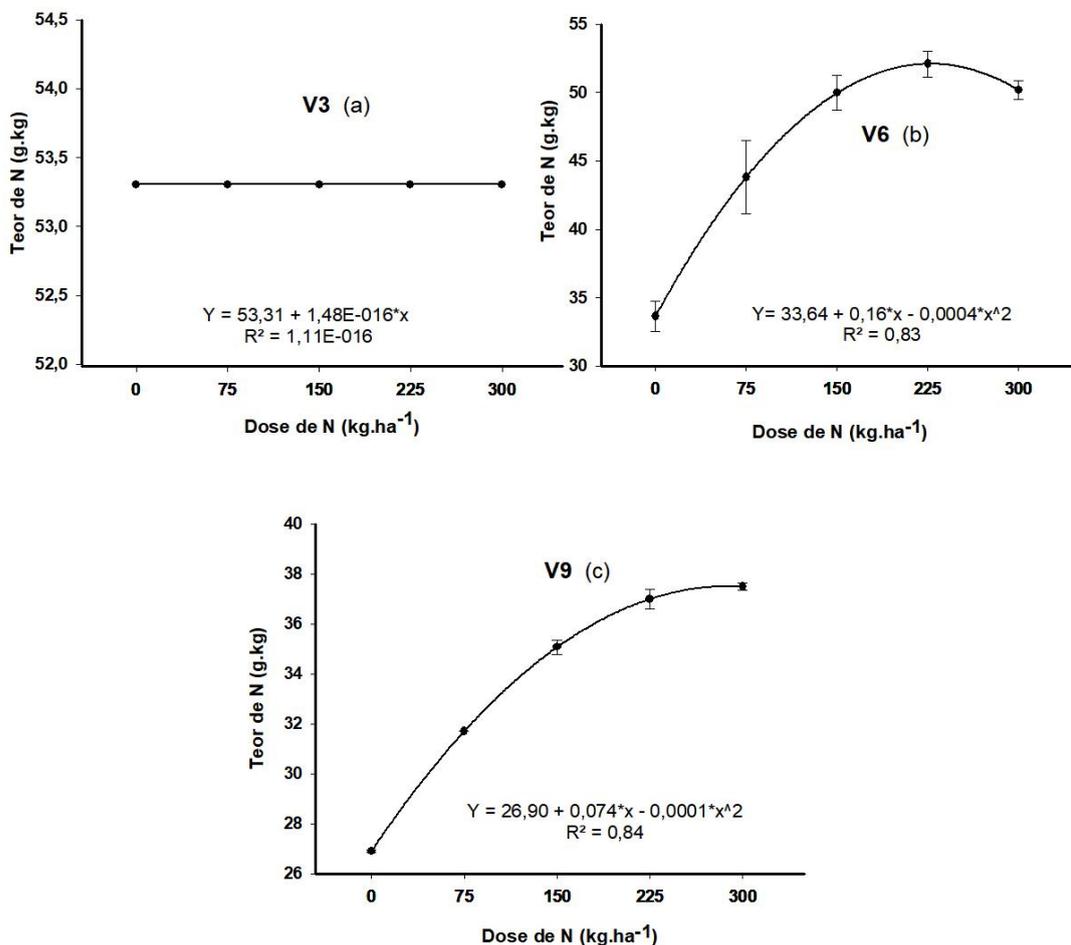
Índice de Vegetação	Equação	Referência
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	$NDVI = (Nir - Red) / (Nir + Red)$	Rouse et al., 1974.
Normalized Difference Red Edge Index (NDRE)	$NDRE = (Nir - Red\ Edge) / (Nir + Red\ Edge)$	Barnes et al., 2000.
Difference Vegetation Index (DVI)	$DVI = (Nir - Red)$	Tucker, 1979.
Difference Index 1 (DI1 modificado)	$DI1_{modificado} = R\ 825 - R\ 586$	Buschman and Nagel, 1993.
Modified Photochemical Reflectance Index (MPRI)	$MPRI = (Green - Red) / (Green + Red)$	Yang et al., 2008.
Modified Triangular Vegetation Index (MTVI1)	$1.2 * (1.2 * (Red - Blue) - 2.5 * (Green - Blue))$	Haboudane et., 2004.

A colheita foi realizada no dia 10/06/2019, quando foram colhidas manualmente as espigas das plantas de 4 linhas de 2 metros cada (centro da parcela). Mensurou-se o número de fileira e o número de grãos por fileira das espigas colhidas, que foram então trilhadas e os grãos pesados e corrigidos a 13% de umidade, calculando-se a produtividade em  $kg \cdot ha^{-1}$ . Os resultados obtidos foram tabulados e submetidos à análise de variância, e posteriormente correlacionados (método de Pearson) com a produtividade do milho e os índices de vegetação, em V6 e V9. E os resultados de teor de N e índices de vegetação foram analisados pelo método de análise de regressão.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A adubação nitrogenada de cobertura influenciou significativamente os teores de N na planta em V6 e V9 (Figura 4b e 4c). Já no estágio V3 (Figura 4a), não observou-se qualquer influência da adubação nitrogenada, o que faz sentido já que as avaliações foram realizadas antes da aplicação de N, mostrando que as plantas neste estágio inicial se encontravam iguais em todas as parcelas. Nota-se que nos estádios V6 e V9 ocorreu alteração do teor de N na folha em relação as doses aplicadas, estes dados se ajustaram em uma equação quadrática, com o seu máximo teor ocorrendo na doses 200 kg.ha<sup>-1</sup> e 370 kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente V6 e V9. Estes resultados também foram encontrados em diferentes estudos, que observou que a acumulação de nitrogênio na planta de milho nos estádios iniciais é pequena, porém ocorre um acúmulo significativo nos demais estádios da planta, possuindo um aumento linear em relação a acumulação de N (VON PINHO, et al., 2010; SILVA et al., 2016a).

**Figura 4.** Teor de nitrogênio (N) em folhas de milho, nos estádios V3 (a), V6 (b) e V9 (c), em função de doses de N aplicadas em cobertura (estádio V3).

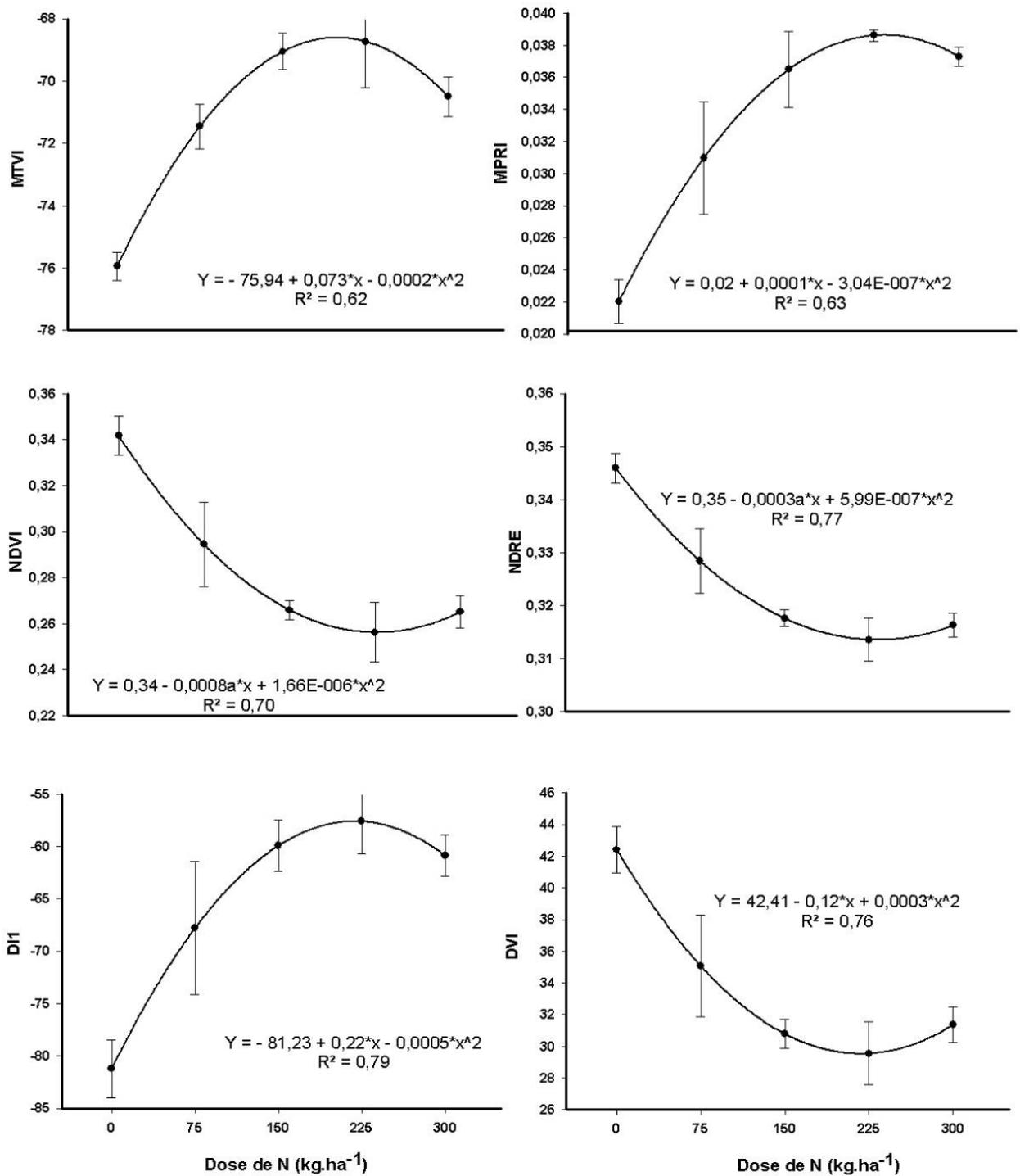


As plantas cultivadas sobre um aporte maior de N acumularam conseqüentemente quantidades maiores do teor de N na folha. O N é constituinte de proteínas e tem a capacidade de interferir diretamente no processo fotossintético, fazendo com que maiores quantidades do nutriente resultem em aumento de biomassa na planta, e isso é positivamente correlacionado com um maior acúmulo de N no milho cultivado sobre um solo mais rico com este nutriente (SILVA, 2016b). O teor foliar de N é um excelente parâmetro para detectar a quantidade de N que foi absorvido pela planta (GAZOLA et al., 2014). Pode-se afirmar que os resultados obtidos nesta pesquisa corroboram os apresentados por Resende et al. (2017), da Silva et al. (2017) e Sodr e et al. (2019), os quais também verificaram o aumento do teor de N na folha em diferentes estádios em fun o do aumento da aduba o nitrogenada na cultura do milho.

Todos os índices de vegeta o trabalhados no estádio V6 da cultura se ajustaram em equa es quadráticas como   apresentado na Figura 5. No entanto os  ndices NDRE,  $DII_{\text{modificado}}$  e DVI apresentaram os melhores ajustes em fun o da aduba o nitrogenada, com  $R^2$  de 77%, 79% e 76%, respectivamente. Já os índices de vegeta o MTVI, MPRI e NDVI apresentaram menores coeficientes de determina o, obtendo valores de  $R^2$  de 0,62, 0,63 e 0,70, porém estes índices forneceram informa es interessantes em rela o a estrutura do dossel da planta, mas os mesmos não conseguiram ser capazes de determinar com precisão o estado nutricional do milho.

Os gráficos dos  ndices MTVI, MPRI e  $DII_{\text{modificado}}$  (Figura 5) obtiveram comportamentos muito próximos com o da resposta da planta em termo de altera o do teor de nitrogênio na folha, isso exemplifica que estes índices conseguiram aproximar a resultados muito próximos que a planta apresentou quando se encontrava em diferentes doses de N, fazendo com que estes sejam índices de vegeta o mais confiáveis (Figura 4). O  $DII_{\text{modificado}}$    o  ndice que possui maior ajuste em rela o aos outros, este   a varia o das bandas estreitas de comprimento 825nm (infravermelho) e 586nm (verde). A banda 825nm está relacionado a estrutura do mesófilo foliar (800 a 1300nm), tecido fundamental localizado entre as duas faces da epiderme, e principal responsável pelo processo de fotossíntese da planta, formado basicamente por parênquima clorofiliano que apresenta elevada quantidade de cloroplastos (CAMPELO, 2018). Contudo, a banda 586nm se encontra nas regiões do espectro relacionado   concentra o de clorofila (450 a 750nm), que   o pigmento responsável por captar a luz e garantir o processo de fotossíntese nas plantas.

**Figura 5.** Índices de vegetação (calculados a partir de sensor multiespectral Sentera) de plantas de milho (estádio V6) em função de doses de nitrogênio (N) aplicadas em cobertura (estádio V3).



A identificação da alteração da resposta espectral em relação a adubação nitrogenada se encontra entre as essas duas faixas do espectro, a faixa do visível por conta da degradação de pigmentos, especialmente a clorofila, caracterizando a baixa intensidade do verde ao olho humano, fazendo com que influencie na curva espectral de reflectância em plantas dispostas em diferentes doses de N, e a do infravermelho que tem efeito na reflectância por conta do aumento de biomassa em plantas bem nutridas, especialmente a nível de dossel (CILIA et al., 2014; CAMPELO, 2018).

O NDRE possui um alto ajuste ( $R^2$  0,77) é observado que seu pico máximo chega na dose de 250 kg.ha<sup>-1</sup> (Figura 5). Uma justificativa do NDRE ter se destacado positivamente é por o mesmo trabalhar com as bandas do NIR e do RedEdge (Tabela 3). A banda do NIR (725 a 760nm) influencia a alteração da reflectância quando se ocorre mudanças estruturais na planta, isso foi estudado por Quemada et al. (2014), o qual constatou maior diferenciação em curvas espectrais acima de 740nm, tendo como resultado uma maior sensibilidade dessa onda na concentração de N foliar no milho. O RedEdge se encontra na faixa do infravermelho entre 712 a 722 nm, por ser uma região de variações no espectro de reflectância o valor encontrado em estudos pode ajudar a prever o status de N e crescimento da cultura, e é também por isso o mesmo vem sendo muito utilizado para caracterizar parâmetros de plantas com deficiência nutricional (CAMPELO, 2018; GUO 2018).

Resultados similares foram encontrados por Povh & Dos Anjos (2015), que utilizaram o NDRE para comparar doses de N na cultura do feijão, e obtiveram um  $R^2$  de 0,62 quando da dose máxima de 120 kg.ha<sup>-1</sup>, com um valor do índice de 0,3274. Substituindo os valores na equação do NDRE na Figura 5, é encontrado na dose 120 kg.ha<sup>-1</sup> o valor de 0,32, bem próximo ao encontrados pelos autores.

Nota –se que os índices MTVI e MPRI apresentaram  $R^2$  de 0,62 e 0,63, respectivamente, sendo valores muito semelhantes. Uma das justificativas que podem ser analisadas é em relação a formula dos dois índices (Tabela 3), haja vista que trabalham com bandas na região do visível (400 – 700nm). Estudos de Campelo (2018) comprovam que nos tratamentos de N com a adubação reduzida no milho (0 e 60 kg.ha<sup>-1</sup> de N) a reflectância maior encontrada foi na região do visível, e para os tratamentos com adubação elevada (120 e 180 kg.ha<sup>-1</sup> de N) a reflectância maior foi na região do infravermelho, onde justifica também a significância do DVI com as doses aplicadas neste trabalho, pois o mesmo é a diferenciação da banda do infravermelho (NIR) com a do vermelho (Red).

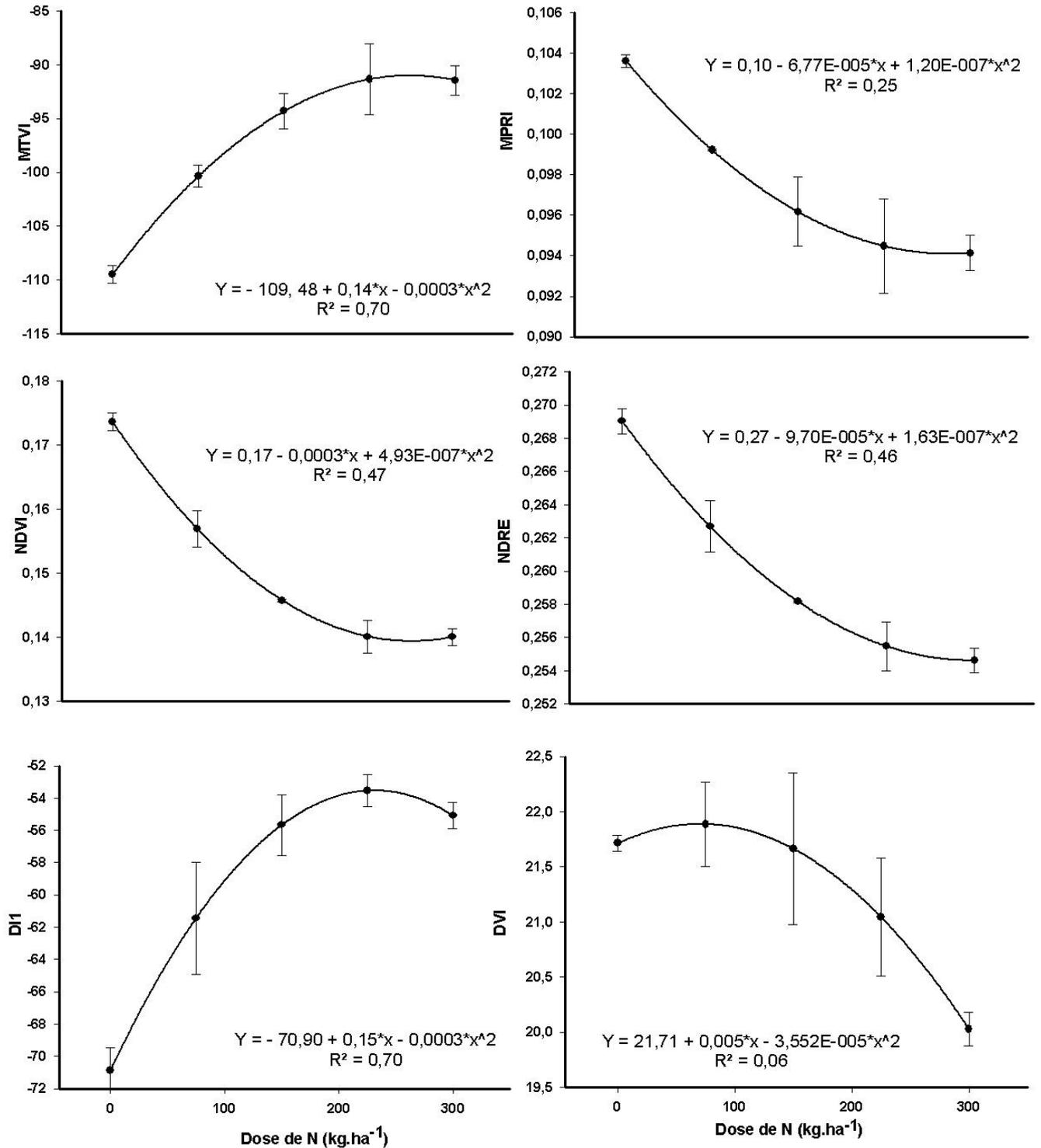
Os gráficos apresentados na Figura 6 mostram as equações de regressão para os índices

estudados em função das doses de N aplicadas em cobertura na cultura do milho, sendo que nenhuma variável possuiu um bom ajuste no estádio V9. Com base nos estudos de Gabriel et al. (2017), que avaliou a correlação de diferentes doses de N no milho com o índice NDVI, o autor também não obteve significância nos seu trabalho ( $R^2 = 0,0001$ ) sendo muito inferior quando comparado na Figura 6 ( $R^2 = 0,47$ ). Sua justificativa em relação a este resultado é que altas concentrações do N podem aumentar a dificuldade de recomendação do fertilizante.

Os resultados obtidos por Amado et al. (2017), que avaliou o NDVI no milho sob diferentes doses de N por meio do sensor óptico Greenseeker, com altura do dossel da planta de 0,7 m, tendo como resultado em V8 um  $R^2 = 0,76$ . A explicação que se pode dar em relação a diferença dos resultados encontrados por Amado et al. (2017), Gabriel et al. (2017), e do presente trabalho, pode ter levado em conta a distância em metros realizada de cada leitura do índice, o primeiro autor realizou leitura do dossel da planta em uma altura de 0,7 m, o segundo a 80m do dossel da planta e o último a uma altura de 30m.

Nota-se novamente que os gráficos dos índices MTVI e DI1 modificado obtiveram comportamentos bem próximos em relação a resposta da planta em termos de alteração do teor de N constituinte na folha (Figura 4). O índice DI1 modificado possui bom ajuste no estádio V6 ( $R^2 = 0,79$ ) quanto no estádio V9 ( $R^2 = 0,70$ ), este por trabalhar com bandas estreitas proporcionou excelentes ajustes quando relacionados com diferentes doses de nitrogênio no milho. Os autores Sibanda & Mutanga (2016) analisaram a eficácia de índices de vegetação quando calculados com bandas estreitas e bandas largas, e, estes também obtiveram o mesmo, mostrando que os índices são mais eficazes quando trabalhados com bandas estreitas.

**Figura 6.** Índices de vegetação (calculados a partir de sensor multiespectral Sentera) de plantas de milho (estádio V9) em função de doses de nitrogênio (N) aplicadas em cobertura (estádio V3).



Observa-se que os índices de vegetação calculados nos dois estádios (V6 e V9) não obtiveram uma boa correlação com a produtividade do milho, conforme é apresentado na Tabela 4. O índice  $DII_{\text{modificado}}$  no estádio V6 foi o que mais se aproximou ao  $r$  ideal, obtendo como resultado  $r$  de 71%, mostrando que este índice mais se aproximou a correlação de produtividade da cultura. Isso já era o esperado, pois o  $DII_{\text{modificado}}$  foi o índice de vegetação que mais bem se destacou em relação a diferentes variáveis analisadas.

**Tabela 4.** Correlação de Pearson ( $r$ ) entre os índices de vegetação calculados e a produtividade do milho nos estádios V6 e V9.

	<sup>1</sup> MTVI ( $r$ )	<sup>2</sup> MPRI ( $r$ )	<sup>3</sup> NDVI ( $r$ )	<sup>4</sup> NDRE ( $r$ )	<sup>5</sup> DII ( $r$ )	<sup>6</sup> DVI ( $r$ )
Produtividade (V6)	0,47	0,67	- 0,69	- 0,69	0,71	- 0,69
P Valor	0,035	0,001	0,0006	0,0007	0,0004	0,0007
Produtividade (V9)	0,69	- 0,47	- 0,64	- 0,42	0,64	-0,30
P Valor	0,0007	0,04	0,002	0,07	0,002	0,20

Em estudos com o NDVI, trabalhando com população média de 60.000 plantas  $ha^{-1}$  e aplicação do índice aos 30 DAE da cultura do milho, Oliveira (2017) obteve  $r = 0,78$  um pouco elevado quando comparado o NDVI em V6 (-0,69) (Tabela 4), porém o autor justifica que por não ocorrer linearidade em características de biomassa e índice de áreas foliar, os mesmo prejudicam a geração de um modelo de previsão de produtividade. Trabalhos conduzidos por Carvalho et al. (2019), que estudaram os índices de vegetação em diferentes estádios fenológicos relacionado com a produtividade de milho, também não mostraram resultados significativos em relação ao índice NDRE no estádio V6. Porém, obteve P significativo ( $<0,01$ ) no estádio V9 nos índices NDRE e NDVI, com o  $P <0,01$  para ambos, estes valores são semelhantes aos apresentados na Tabela 4.

O índice MTVI obteve baixa correlação quando comparados aos outros índices no estádio fenológico V6 ( $R^2 = 0,47$ ), porém no estádio V9 ( $R^2 = 0,69$ ) possui maior correlação que qualquer outro índice calculado. Já os índices MPRI e DVI não foram significativos no estádio V6 e V9 ( $R^2 = 0,67$  e  $R^2 = -0,69$ , respectivamente), como é apresentado na Tabela 4.

## 5 CONCLUSÕES

A mudança de diferentes doses de nitrogênio resultou na variação do teor de nitrogênio na folha do milho. Os índices de vegetação obtidos por meio de sensores multiespectrais acoplados em Vants foram capazes de detectar as alterações das diferentes doses de N aplicadas na cultura do milho.

O  $DII_{\text{modificado}}$  foi o índice de vegetação que mais se aproximou com a resposta da planta em relação a alteração das doses aplicadas no experimento, podendo ser capaz em contribuir com a quantificação de adubação nitrogenada na cultura do milho.

Os índices de vegetação possuíram boa correlação com a produtividade do milho, sendo que o índice  $DII_{\text{modificado}}$  foi o que mais se aproximou nesta correlação, podendo este auxiliar na predição da produtividade da cultura.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, R. H. C. **Comparação entre metodologias de índices de vegetação utilizando dados do satélite Worldview-2 no Parque Estadual do Lago Azul, Campo Mourão e Luiziana-PR.** Bachelor's Thesis. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2013.

AMADO, T.J.C; MIELNICZUK, J; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de cobertura do solo sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Campinas, v.26, p.241-248, 2002.

AMADO, T.J.C.; VILLALBA, E.O.H.; BORTOLOTTI, R.P.; NORA, D.D.; BRAGAGNOLO, J.; & LEÓN, E.A.B. Rendimento e eficiência nutricional do milho em resposta a doses e parcelas de adubação nitrogenada. **Revista Ceres.** v.64.4: p.351-359, 2017.

ANDRADE, R.; HOTT, M.; de MAGALHAES JUNIOR, W. C. P.; OLIVEIRA, P. D.; & OLIVEIRA, J. Uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) como plataforma para monitoramento da produção agropecuária: estudo de caso para o milho forrageiro. **Embrapa Gado de Leite-Documents (INFOTECA-E)**, 2019.

ANDREUCCI, M. P. **Perdas nitrogenadas e recuperação aparente de nitrogênio em fontes de adubação de capim elefante.** 2007. 204 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2007.

ARANTES, B. H. **Deteção de nematoides na fase reprodutiva da soja por meio de Veículos Aéreos Não Tripulados.** 2019. 52f. Dissertação (em Ciências Agrárias – Agronomia) – Instituto Federal Goiano, campus Rio Verde, 2019.

BARBOSA, J. Z.; CONSALTER, R.; PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. Uso de imagens digitais obtidas com câmeras para analisar plantas. **Revista de Ciências Agrárias,** v. 39, n. 1, p. 15-24, 2016.

BARNES, E. M., CLARKE, T. R., RICHARDS, S. E., COLAIZZI, P. D., HABERLAND, J., KOSTRZEWSKI, M., ... & LASCANO, R. J. Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground based multispectral data. In: **Proceedings of**

the **Fifth International Conference on Precision Agriculture, Bloomington, MN, USA.** 2000.

BUSCHMAN, C., & NAGEL, E. In vivo spectroscopy and internal optics of leaves as a basis for remote sensing of vegetation. **International Journal of Remote Sensing**, 14, p.711–722, 1993.

CAIRES, E. F.; & MILLA, R. Adubação nitrogenada em cobertura para o cultivo de milho com alto potencial produtivo em sistema de plantio direto de longa duração. **Bragantia**, v. 75, n. 1, p. 87-95, 2016.

CAMPELO, D. H. **Uso do sensoriamento remoto para diagnóstico nutricional na cultura do milho irrigado.** 2018. 195f. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2018.

CARVALHO, F.D.; AMADO, T.J.C.; SOBRINHO, J.C.; AMARAL, L. de PAULA.; POTT, L. P.; PICCIN, M.; PEDRON, V.F. Índices de vegetação em diferentes estádios fenológicos relacionados com a produtividade de grãos de milho. **Revista Brasileira de Ciência Agrárias.** v14. n.4, 2019.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; FLECHA, A. M. T.; PAVINATO, P. S.; VIEIRA, F. C. B.; MAI, M. E. M. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia preta/milho, no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 1, 2002.

CILIA, C.; PANIGADA, C.; ROSSINI, M.; MERONI, M.; Busetto, L.; AMADUCCI, S.; COLOMBO, R. Nitrogen status assessment for variable rate fertilization in maize through hyperspectral imagery. **Remote Sensing**, v. 6, n. 7, p. 6549-6565, 2014.

CONAB.COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira – grãos:** Terceiro levantamento, Dezembro 2019 – Safra 2019/20. Disponível em:<<http://www.conab.gov.br> >. Acesso em: 26 dez. 2019.

CURRAN, P.J. **Principles of remote sensing.** London: Logman, 1985, vol. 6, no 11.

DA SILVA, G. F., DE OLIVEIRA, F. H. T., PEREIRA, R. G., DIÓGENES, T. B. A., JÚNIOR, J. N., & DE SOUZA FILHO, A. L. Doses de nitrogênio e de fósforo recomendadas para produção econômica de milho verde em Mossoró-RN. **MAGISTRA**, 26.4: 467-481, 2017.

DE ALMEIDA, C. M. Aplicação dos sistemas de sensoriamento remoto por imagens e o planejamento urbano regional. **arq. urb**, n. 3, p. 98-123, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, RJ. **Manual de métodos de análise**. Rio de Janeiro, 1979.

FAO - Organização para Alimentação e Agricultura. **Divisão de estatística**. Disponível em: <Disponível em: <http://.fao.org/brasil> >. Acesso em: 26 dez. 2019.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras:UFLA/FAEPE, p 161, 2005.

FENG, W .; YAO, X .; ZHU, Y .; Tian, YC; CAO, WX .Monitorando o status do nitrogênio foliar com refletância hiperespectral no trigo. **European Journal of Agronomy**, v.28, p.394-404, 2008. DOI: 10.1016 / 2007.

FIESP. FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Boletim informativo – Safra Mundial de Milho: 8º levantamento do USDA, Dezembro de 2019 – Safra 2019/20**. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br> >. Acesso em: 26 dez. 2019.

FIGUEIREDO, Divino. Conceitos básicos de sensoriamento remoto. **São Paulo**, 2005.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 2007.

FOX, R.H. & WALTHALL C.L. **Crop monitoring technologies to assess nitrogen status**. J.S. Schepers, W.R. Raun (Eds.), Nitrogen in agricultural systems, agronomy monograph 49, ASA, CSSA, SSSA, Madison, USA, p. 647-674, 2008.

FRANCHINI, J.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; JORGE, L. D. C.; DEBIASI, H.; DIAS, W.; GODOY, C.; ... & de OLIVEIRA, M. C. N. Uso de imagens aéreas obtidas com drones em sistemas de produção de soja. **Embrapa Soja-Documentos (INFOTECA-E)**, 2018.

GABRIEL, J. L.; ZARCO-TEJADA, P. J.; LÓPEZ-HERRERA, P. J.; PÉREZ-MARTÍN, E.; ALONSOAYUSO, M.; QUEMADA, M. Airborne and ground level sensors for monitoring nitrogen status in a maize crop. **Biosystems engineering**, v. 160, p. 124-133, 2017.

GAZOLA, D., ZUCARELI, C., & SILVA, R. R. Aplicação foliar de aminoácidos e adubação nitrogenada de cobertura na cultura do milho safrinha. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.18, n.7, p.700–707, 2014.

GROSS, M. R.; VON PINHO, R. G.; BRITO, A. H. Adubação nitrogenada, densidade de semeadura e espaçamento entre fileiras na cultura do milho em sistema plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 3, p. 387-393, 2006.

GUO, B.B.; ZHU, Y.J.; FENG, W.; HE, L.; WU, Y.P.; ZHOU, Y.; MA, Y. Remotely estimating aerial N uptake in winter wheat using red-edge area index from multi-angular hyperspectral data. **Frontiers in plant Science**. 9: p.675, 2018.

HABOUDANE, D., MILLER, J.R., PATTEY, E., ZARCO-TEJADA, P.J., AND STRACHAN, I. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: modelling and validation in the context of precision agriculture, **Remote Sens. of Environ.**, p.337-352, 2004.

JORGE, L. D. C.; INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. **Embrapa Instrumentação**-Capítulo em livro científico, 2014.

LEMOS, R.C. & SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 3.ed. Campinas, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p.83, 1996.

OLIVEIRA, M. F. D **Modelos de predição de produtividade da cultura do milho por meio de NDVI em arranjos espaciais**. 2017. 40f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Veterinárias, 2017.

QUEMADA, M., GABRIEL, JL E ZARCO-TEJADA, P. Airborne hyperspectral images and ground-level optical sensors as assessment tools for maize nitrogen fertilization. **Remote sensing**, v. 6, n. 4, p. 2940-2962, 2014.

POVH, F. P., & DOS ANJOS, W. D. P. G. Avaliação de sensor óptico para a adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). In: **X CONGRESSO BRASILEIRO de AGROINFORMÁTICA**, 2015. Ponta Grossa - PR. p. 39-45, 2015.

RAIJ.B.V; ANDRADE J.C.; CANTARELLA H.; QUAGGIO J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas Instituto Agrônômico, p.285, 2001.

RESENDE, HO, CRUZ, SCS, JÚNIOR, DGS, BARCELOS, JGE, MACHADO, CG. Milho cultivado em arranjo espacial convencional e equidistante submetido a doses de nitrogênio | [Milho cultivado em arranjo espacial convencional e equidistante submetido a doses de nitrogênio]. **Espacios**, v.38, n.42, p. 17, 2017.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: CFSEMG, v. 359, 1999.

RISSINI, A. L. L.; KAWAKAMI, J.; GENÚ, A. M. Índice de vegetação por diferença normalizada e produtividade de cultivares de trigo submetidas a doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 6, p. 1703-1713, 2015.

RITCHIE, Steven W.; HANWAY, John J.; BENSON, Garren O. Como a planta de milho se desenvolve. **Informações agronômicas**, v. 103, p. 1-19, 2003.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W.; & HARLAN, J. C. Monitoring the vernal advancement of retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. **Greenbelt**, USA:NASA/GSFC, Type III, Final Report. (pp. 1e371),1974.

SERRANO L.; FILELLA I.; PEÑUELAS J. Remote sensing of biomass and yield of winter wheat under different nitrogen supplies. **Crop Sci**. 2000.

SHIRATSUCHI, L, S. O avanço dos drones. **Embrapa Agrossilvipastoril-Artigo de divulgação na mídia (INFOTECA-E)**, 2014.

SHIRATSUCHI, L. S.; BRANDÃO, Z. N., VICENTE, L. E., VICTORIA, D. D. C.; DUCATI, J. R.; de OLIVEIRA, R. P.; & VILELA, M. D. F. Sensoriamento remoto: conceitos básicos e aplicações na agricultura de precisão. **Embrapa Territorial-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2014.

SIBANDA, M., MUTANGA, O. & ROUGET, M. Comparing the spectral settings of the new generation broad and narrow band sensors in estimating biomass of native grasses grown under different management practices. **GIScience & Remote Sensing**, 53(5), 614-633, 2016.

SILVA, F. C.; SILVA, M. M.; LIBADI, P. L. Aplicação de nitrogênio no cultivo de milho, sob sistema plantio direto: efeitos na qualidade física do solo e características agronômicas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 3513-3528, 2013.

SILVA, R. L. L., SILVA, C. G. M., & GUIMARÃES, S. Marcha de absorção de nutrientes em cultivares de milho. **XXXI Congresso Nacional de Milho e Sorgo**, Bento Gonçalves (RS), p.210-213, 2016a.

SILVA, C. G. M. **Absorção e exportação de macronutrientes em milho transgênico sob dois níveis de investimento em adubação**. 2016.53f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal de São João Del-Rei, 2016b.

SLATER, P. N. **Remote Sensing, Optics and Optical Systems**. Boston (MA): Addison-Wesley Pub. Co., 575 p, 1980.

SODRÉ, D. C., GALVÃO, J. R., PACHECO, M. J. B., BARBOSA, A. V. C., DA SILVA BRONZE, A. B., MELO, N. C., & DO NASCIMENTO, I. S. B. Teores de nutrientes em milho (*Zea mays* L.) e aplicação de nitrogênio em solo amazônico. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, 10.6: 6-14, 2019.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; Cerrado: Correção do solo e adubação. **2 Ed. Embrapa Informação Tecnológica**, Brasília, DF, 2004.

TUCKER, C. Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation, **Remote Sensing of Environment**, 8: p.127-150, 1979.

VELOSO, C. A. C.; DE SOUZA, L. P. F.; DE PAULA, M. T.; SILVA, A. R.; CARVALHO, E. J. M.; SILVEIRA FILHO, A. Adubação nitrogenada e densidade de semeadura na cultura do milho em plantio direto no Oeste paraense. **Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: ENCONTRO DE CIÊNCIA DO SOLO DA AMAZÔNIA ORIENTAL, 2, 2016.

VON PINHO, R. G., BORGES, I. D., PEREIRA, J. L. D. A. R., & DOS REIS, M. C. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, 8.02, 2010

YAMADA, T. Adubação nitrogenada do milho. Informações **Agronômicas**, Piracicaba, n. 71, p. 1-3, set. 1995.

YAMADA, T. Como melhorar a eficiência da adubação nitrogenada do milho? **Biológica**, v. 25, p. 30, 2000.

YANG, Z., WILLIS, P. & MUELLER, R. Impact of band-ratio enhanced AWIFS image to crop classification accuracy. **Pecora** 17, p.18–20, 2008.

**7 ANEXOS**