

INSTITUTO FEDERAL GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS –
AGRONOMIA

USO DE SENSORES PORTÁTEIS E IMAGENS AÉREAS
NA AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL
NITROGENADO NA CULTURA DO MILHO.

Autor: Thomas Jefferson Cavalcante
Orientador: Prof. DSc. Gustavo Castoldi
Coorientador: Prof. DSc. Tavvs Micael Alves

Rio Verde – GO
Novembro – 2021

INSTITUTO FEDERAL GOIANO CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AGRÁRIAS – AGRONOMIA

USO DE SENSORES PORTÁTEIS E IMAGENS AÉREAS
NA AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL
NITROGENADO NA CULTURA DO MILHO.

Autor: Thomas Jefferson Cavalcante
Orientador: Prof. DSc. Gustavo Castoldi
Coorientador: Prof. DSc. Tavvs Micael Alves

Tese apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Ciências Agrárias – Agronomia no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde. Área de concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado.

Rio Verde – GO
Novembro – 2021

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

C376 CAVALCANTE, THOMAS JEFFERSON
USO DE SENSORES PORTÁTEIS E IMAGENS AÉREAS NA
AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL NITROGENADO NA
CULTURA DO MILHO. / THOMAS JEFFERSON CAVALCANTE;
orientador Gustavo Castoldi; co-orientador Tavvs
Micael Alves. -- Rio Verde, 2021.
67 p.

Tese (Doutorado em ciências agrária-agronomia) --
Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2021.

1. Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada. 2.
SPAD. 3. Dualex. 4. Zea mays L. I. Castoldi,
Gustavo, orient. II. Alves, Tavvs Micael , co-
orient. III. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |
| <input type="checkbox"/> Produto técnico e educacional - Tipo: | <input type="checkbox"/> |

Nome completo do autor:

Thomas Jefferson Cavalcante

Matrícula:

2017202320140072

Título do trabalho:

USO DE SENSORES PORTÁTEIS E IMAGENS AÉREAS NA AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL NITROGENADO NA CULTURA DO MILHO.

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIIF Goiano: 16 /05 /2022

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não O

documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde, Goiás
Local

13 /05 /2022
Data

Thomas Jefferson Cavalcante

Assinatura do autor ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Gustavo Castoldi

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
 MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
 SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
 INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 89/2021 - NREPG-RV/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

**ATA Nº/83
 BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE TESE**

Aos trinta dias do mês de setembro do ano de dois mil e vinte e um, às 14:00h (quatorze horas), reuniram-se os componentes da Banca Examinadora: Prof. Dr. Gustavo Castoldi (Orientador), Prof.ª Dra. Virginia Damin (Avaliadora externa), Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira (Avaliador interno), Prof. Dr. Pedro Rogério Giongo (Avaliador externo) e Prof. Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues (Avaliador externo), sob a presidência do primeiro, em sessão pública realizada por vídeo conferência do IF Goiano - Campus Rio Verde, para procederem a avaliação da defesa de Tese, em nível de Doutorado, de autoria de **THOMAS JEFFERSON CAVALCANTE**, discente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Gustavo Castoldi, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida ao autor da Tese para, em 40 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o(a) examinado, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia, e procedidas às correções recomendadas, a Tese foi **APROVADA**, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **DOCTOR EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS-AGRONOMIA**, na área de concentração **Produção Vegetal Sustentável no Cerrado**, pelo Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGCA-AGRO da versão definitiva da Tese, com as devidas correções. Assim sendo, esta ata perderá a validade se não cumprida essa condição, em até 60 (sessenta) dias da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Tese em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Tese de Doutorado, e para constar, eu, Vanilda Maria Campos, secretária do PPGCA-AGRO, lavrei a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada pelos membros da Banca Examinadora em três vias de igual teor.

Prof. Dr. Gustavo Castoldi (Presidente)
Prof.ª Dra. Virginia Damin (Avaliadora externa)
Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira (Avaliador interno)
Prof. Dr. Pedro Rogério Giongo (Avaliador externo)
Prof. Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues (Avaliador externo)

Documento assinado eletronicamente por:

- Marconi Batista Teixeira, COORDENADOR DE CURSO - FUC1 - UCPG-RV, em 05/10/2021 17:03:44.
- Virginia Damin, Virginia Damin - Outros - Instituto Federal Goiano (1), em 01/10/2021 11:18:40.
- Carlos Ribeiro Rodriguez, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 01/10/2021 10:07:14.
- Pedro Rogerio Giongo, Pedro Rogerio Giongo - 234310 - Professor de engenharia - Ueg (01112580000171), em 30/09/2021 18:50:29.
- Gustavo Castoldi, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 30/09/2021 18:39:07.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 28/09/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 312535
 Código de Autenticação: 932e9ff295



AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, cuja fé nele me fortalece e mostra os caminhos seguros.

Ao Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde, pela oportunidade de realizar o curso de Doutorado.

À minha família: pai Manoel Jorge Cavalcante Neto, mãe Maria Isabel Dias Cavalcante, irmã Maisa Dias Cavalcante e a minha noiva Janniffer Custodio da Silva. Por sempre me apoiar e me fortalecer em cada decisão.

Ao meu orientador prof. Dr. Gustavo Castoldi, pela oportunidade de ser seu orientado, pelo compartilhamento de seus conhecimentos, dedicação, paciência, conselhos, apoio para que este trabalho fosse realizado, e ensinamentos que levo para a vida.

Ao meu Coorientador Tavvs Michael Alves, por aceitar o convite de participar deste trabalho e sempre estar próximo ajudando com dúvidas e sugestões.

A CAPES/FAPEG, pela bolsa concedida que me ajudou muito neste período de doutorado.

Aos amigos que tive o prazer de conviver nesse período, e que vou levar para vida Alice Maria, Matheus Martins, Franciele Freitas, João Sevilha, Gabriel e Diego Oliveira e tantos outros que fizeram partes da minha caminhada. A todos os Professores e funcionários do PPGCA – AGRO.

A todos, obrigado.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Thomas Jefferson Cavalcante, filho de Manoel Jorge Cavalcante Neto e Maria Isabel Dias Cavalcante, nascido 01 de novembro de 1992 em Quirinópolis, Goiás.

Iniciou na graduação na Universidade Estadual de Goiás (UEG) em fevereiro de 2010, obtendo título de Engenheiro Agrícola em 2014.

Ingressou no mestrado em agosto de 2015 pelo Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, no Instituto Federal Goiano- Campus Rio Verde obtendo o título de mestre em julho de 2017.

Em março de 2017, iniciou no curso de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia, no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde.

Em setembro de 2020 iniciou minha trajetória no xarvio- Digital Farming Solutions como supervisor de todas as operações dos estados de Goiás e Minas Gerais indo até fevereiro de 2021.

Em fevereiro de 2021 iniciou como consultor no xarvio-Digital Farming Solutions como consultor.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS	11
ÍNDICE DE TABELAS.....	13
LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIACÕES.....	14
RESUMO GERAL	15
GENERAL ABSTRACT	16
1. INTRODUÇÃO	17
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1 Adubação nitrogenada no milho	20
2.2 Sensores portáteis para estimar nitrogênio	22
2.3 Sensores remotos para estimar nitrogênio	24
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
4. OBJETIVOS	31
4.1 GERAL	32
4.2 ESPECÍFICOS.....	32
5. CAPÍTULO I	32
RESUMO.....	33
ABSTRACT	34
5.1 INTRODUÇÃO	34
5.2 MATERIAIS E MÉTODOS	36
5.2.1 Áreas experimentais, tratamentos e implantação dos ensaios	36

5.2.2 Determinação óptica por sensores portáteis e Análise química de tecido vegetal.	38
5.2.3 Análise estatística dos dados	38
5.3 RESULTADOS	39
5.3.1 Correlação entre as variáveis dos sensores portáteis Dualex e SPAD com teores de N obtidos no estádio V6	40
5.3.2 Correlação entre as variáveis dos sensores portáteis Dualex e SPAD com teores de N obtidos no estádio V9.	42
5.4. DISCUSSÃO	43
5.5. CONCLUSÕES	44
5.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
6. CAPÍTULO II.....	48
RESUMO	48
ABSTRACT	49
6.1. INTRODUÇÃO	50
6.2 MATERIAL E MÉTODOS	52
6.2.1 Áreas experimentais, tratamentos e implantação dos ensaios	52
6.2.2 Mensuração do teor de clorofila e obtenção das imagens aéreas	53
6.2.3 Determinação da área de interesse (AI) para estimar clorofila a partir das imagens aéreas	54
6.2.4 Análise estatística dos dados	55
6.3. RESULTADOS	56
6.3.1 Efeito da adubação nitrogenada no índice SPAD	56
6.3.2 Efeito da área de interesse (AI) e a relação entre bandas espectrais Red, Green e Blue e o índice SPAD município de Rio Verde, avaliadas através do parâmetro AIC. .	58
6.3.3 Efeito da área de interesse (AI) na relação entre bandas espectrais Red, Green e Blue e o índice SPAD no município de Jatai, avaliadas através do parâmetro AIC.	59
6.3.4 Efeito da área de interesse (AI) na relação entre bandas espectrais Red, Green e Blue e o índice SPAD no município de Montividiu, avaliadas através do parâmetro AIC.	59

6.3.5 Estimativa do teor de clorofila (índice SPAD) a partir das imagens aéreas	60
6.4 DISCUSSÃO	61
6.5 PESQUISAS FUTURAS	62
6.6 CONCLUSÕES	62
6.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
7. CONCLUSÃO GERAL.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I: Utilização dos sensores SPAD e Dualex em diferentes áreas para estimar nitrogênio em milho em condições de Cerrado

	Página
Figura 1. Localização geográfica dos Municípios que se localizam as 5 áreas de avaliação.....	35
Figura 2. Teores foliares de N no estádio V6 e V9 do milho em função das doses de N nas 5 áreas avaliadas Área 1 (A), 2 (B), 3 (C), 4 (D) e 5 (E).....	38
Figura 3. Coeficiente de correlação de Pearson (r) de parâmetros ópticos (SPAD, Chl, Flav, Anth, NBI SAPD e NBI Dualex) e parâmetros de folha medidos destrutivamente (Teores de N) em 5 áreas diferentes: área 1 (A), área 2 (B), área 3 (C), área 4 (D) e área 5 (E) no estádio V6 para cultura do milho.....	39
Figura 4. Coeficiente de correlação de Pearson (r) de parâmetros ópticos (SPAD, Chl, Flav, Anth, NBI SAPD e NBI Dualex) e parâmetros de folha medidos destrutivamente (Teores de N) em 5 áreas diferentes: área 1 (A), área 2 (B), área 3 (C), área 4 (D) e área 5 (E) no estádio V9 para cultura do milho.....	40.

CAPÍTULO II: Adaptação de método para estimativa de clorofila em milho utilizando sensor RGB embarcado em VANT

Página

Figura 3. Localização geográfica dos Municípios que se localizam as 5 áreas de avaliação.....	52
Figura 4. Teores foliares de N no estádio V6 e V9 do milho em função das doses de N nas 5 áreas avaliadas Área 1 (A), 2 (B), 3 (C), 4 (D) e 5 (E).....	54
Figura 3. Coeficiente de correlação de Pearson (r) de parâmetros ópticos (SPAD, Chl, Flav, Anth, NBI SAPD e NBI Dualex) e parâmetros de folha medidos destrutivamente (Teores de N) em 5 áreas diferentes: área 1 (A), área 2 (B), área 3 (C), área 4 (D) e área 5 (E) no estádio V6 para cultura do milho.....	56
Figura 4. Coeficiente de correlação de Pearson (r) de parâmetros ópticos (SPAD, Chl, Flav, Anth, NBI SAPD e NBI Dualex) e parâmetros de folha medidos destrutivamente (Teores de N) em 5 áreas diferentes: área 1 (A), área 2 (B), área 3 (C), área 4 (D) e área 5 (E) no estádio V9 para cultura do milho.....	57
Figura 5. Valores do Critério de Informação (AIC) da relação entre índice SPAD em plantas de milho (estádio V6) e o número digital de bandas espectrais Red (A, B e C), Green (D, E e F) e Blue (G, H e I) obtidos em áreas de interesse de 100 (A, D e G), 36 (B, E e H) e 4% (C, F e I) das parcelas para o município de Jataí.....	58
Figura 6. Valores do Critério de Informação (AIC) da relação entre índice SPAD em plantas de milho (estádio V6) e o número digital de bandas espectrais Red (A, B e C), Green (D, E e F) e Blue (G, H e I) obtidos em áreas de interesse de 100 (A, D e G), 36 (B, E e H) e 4% (C, F e I) das parcelas para o município de Montividiu.....	59

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO I: Utilização dos sensores SPAD e Dualex em diferentes áreas para estimar nitrogênio em milho em condições de Cerrado

Página

Tabela 1. Caracterização química e granulométrica do solo (camada 00-20 cm) das áreas em que o estudo foi conduzido.....34

CAPÍTULO II: Adaptação de método para estimativa de clorofila em milho utilizando sensor RGB embarcado em VANT

Página

Tabela 2. Caracterização química e textural do solo (camada 00-20 cm) das áreas em que o estudo foi conduzido.52

Tabela 2. Regressão linear simples e seu valor de coeficientes de determinação e nível de significância para variável de clorofila em função das bandas do sensor RGB.....60

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIACÕES

N	Nitrogênio
AI	Área de Interesse
Chl	Clorofila Dualex
Flav	Flavonoide
Anth	Antocianina
AIC	Critério de Informação de Akaike
R	Red
G	Green
B	Blue
RPAS	Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada
VANT	Veículo aéreo não tripulado

RESUMO GERAL

CAVALCANTE, THOMAS JEFFERSON. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, setembro de 2021. **Manejo de nitrogênio em milho: doses, sensores portáteis e drones.** Orientador: Dr. Gustavo Castoldi; Coorientador: Dr. Tavvs Micael Alves.

No Brasil por ser um país tropical e exigir altas demandas de nitrogênio para elevar a produtividade do milho, faz com que se atente para formas de melhorar o manejo do nitrogênio para cultura. Assim, no primeiro estudo o objetivo foi validar a utilização do sensor Dualex (“dual excitation”) para cultura do milho. Desta forma, avaliaram cinco áreas com cinco diferentes doses de nitrogênio (N) a fim de criar um gradiente de clorofila que permitisse validar o sensor Dualex, em comparação com o sensor SPAD (Soil Plant Analysis Development). No segundo estudos o objetivo foi utilizar uma câmera Red Green Blue - RGB acoplada em um Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada (VANT) para verificar se é possível observar os diferentes gradientes de clorofila, em três municípios distintos. Dentre os sensores de clipe a utilização do Dualex apresentou correlação com SPAD de 88 a 92%, isso demonstra que o Dualex é um sensor que pode ser utilizado na cultura do milho para estimar clorofila. Dentre as formas de auxiliar no manejo de nitrogênio no milho surge outras possibilidades além do Dualex e SPAD, que seria a utilização de VANT acoplados com câmeras de baixo custo (RGB) a fim de auxiliar em grandes áreas esse manejo. Depois da metodologia foi gerado um cálculo matemático utilizando todos os valores das 3 bandas nos 3 municípios e concluindo que a combinação das bandas Green e Blue na equação $68,65 + (0,36*(Green+Blue))$ consegue estimar até 66% de nitrogênio presente na cultura do milho. Os sensores portáteis e remotos mostraram ser ferramentas que conseguem boas correlações com a quantidade de clorofila presente na cultura de milho, e desta forma podem ser utilizados como ferramentas eficientes no manejo do nitrogênio.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada, SPAD, Dualex, *Zea mays* L

GENERAL ABSTRACT

CAVALCANTE, THOMAS JEFFERSON. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, September 2021. **Nitrogen management in corn: doses, portable sensors and drones.** Advisor: PhD. Gustavo Castoldi; Co-advisor: PhD. Tavvs Micael Alves.

In Brazil, as it is a tropical country and requires high nitrogen demands to increase corn productivity, attention is drawn in ways to improve nitrogen management for crop. Thus, in the first study, the objective was to validate the use of Dualex sensor ("dual excitation") for corn cultivation. In this way, it was evaluated five areas with five different doses of nitrogen (N) to create a chlorophyll gradient that would allow validating the Dualex sensor in comparison with the SPAD (Soil Plant Analysis Development) sensor. In the second study, the objective was to use a Red Green Blue - RGB camera coupled to a Remotely Piloted Aircraft System (UAV) to verify if it is possible to observe the different chlorophyll gradients in three different cities. Among the clip sensors, the use of Dualex presented a correlation with SPAD of 88 to 92%, which shows that Dualex is a sensor that can be used in corn crop to estimate chlorophyll. Among the ways to assist in the nitrogen management in corn crop, there are other possibilities besides Dualex and SPAD, which would be the use of UAV coupled with low-cost cameras (RGB) to assist this management in large areas. After the methodology, a mathematical calculation was generated using all the values of the 3 bands in the 3 municipalities and it was concluded that the combination of the Green and Blue bands in the equation $68.65 + (0.36 * (\text{Green} + \text{Blue}))$ can estimate up to 66% of nitrogen present in the corn crop. Portable and remote sensors proved to be a tool that achieves good correlations with the amount of chlorophyll present in the corn crop and, therefore, can be efficiently used in nitrogen management.

KEYWORDS: Remotely Piloted Aircraft System, SPAD, Dualex, Zea mays L

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor de milho (*Zea mays L.*) no mundo e estima-se que a produção para a safra 2020/21 seja de aproximadamente 85,8 milhões de toneladas (CONAB, 2021). Deste modo, o grande desafio da agricultura tem sido maximizar a produtividade, reduzindo custos de produção e impactos ambientais, pois o milho é usado como alimento, ração animal, combustível e como fonte de matéria-prima industrial. Como o milho é um produto essencial, a produção de milho deve ser aumentada por meio de estratégias específicas, por exemplo, fornecendo nutrientes adequados para as plantas (Putra et al., 2021).

Para se obter maior potencial produtivo a cultura de milho demanda grandes quantidades de nitrogênio (N) (Mortate et al., 2018). Isto, porque o N é um desempenha importantes funções nos processos bioquímicos, e é componente de clorofilas, metabólitos secundários, proteínas e outras enzimas (Elazab et al., 2016; Gabriel et al., 2017). Este elemento em níveis adequados estabelece papel importante da produtividade de grãos e retorno econômico da cultura (Faquin, 2005; Silva et al., 2011; Martins et al., 2020), de modo que definir uma dose ótima de nitrogênio, economicamente viável e que esteja disponível na época certa, está se tornando cada vez mais importante (Zhu et al., 2016). Aproximadamente, 30-50% do nitrogênio nas folhas verdes está na forma de RuBisCO, sendo a enzima/proteína fotossintética chave nas folhas verdes, e manter o nível de nitrogênio nas plantas acima de um valor crítico é muito importante, porque o nitrogênio é usado para formar biomassa com o progresso nos estágios de crescimento (Leghari, et al., 2016).

A recomendação de adubação nitrogenada é uma aproximação do que a cultura necessita e de quanto estima produzir, visto que a dinâmica de N no solo é complexa, ainda mais em sistemas de plantio direto, pois o N está sujeito a vários processos, como, volatilização, mineralização, desnitrificação, imobilização e lixiviação (Chen et al., 2010). Estes processos podem ser afetados por vários fatores, tais como textura do solo,

umidade, época de plantio e de aplicação do N, tipo do fertilizante e temperatura do solo (Bayer et al., 2015; Masvaya et al., 2017). Assim, identificar a dose ideal é o ponto chave, por conta que o excesso de N pode reduzir a eficiência agrônômica e aumentar o custo, e a insuficiência pode afetar a produtividade da cultura.

Para determinar quanto a planta tem de N utiliza-se a clorofila como indicador, visto que o teor de clorofila na folha correlaciona com o teor de N na planta. A determinação deste pigmento é realizada através da análise destrutivas das folhas, em que se faz a extração dos solutos foliares e em seguida a determinação no espectrofotômetro, sendo um método convencional, porém muito trabalhoso. A avaliação da clorofila das folhas de forma rápida e de baixo custo tornou-se mais fácil e assertiva com os recentes avanços e o aperfeiçoamento de medidores portáteis, e tem possibilitado sua utilização como critério de avaliação do estado nutricional de N nas plantas (Coelho et al., 2012). O uso de sensores portáteis como o SPAD-502 (Minolta Co., Japão), tem sido utilizado em diversas culturas, como, algodão (Neves et al., 2005), pêssego (Benati et al., 2021), couve-flor (Vidigal et al., 2018) e milho (Hurtado et al., 2011).

O clorofilômetro SPAD (Soil Plant Analysis Development) permite determinar a intensidade do verde das folhas. De forma geral, o índice SPAD-502 correlaciona-se positivamente com o teor de clorofila da folha e com estado de N da planta para a grande maioria das plantas cultivadas (Fontes, 2016). O equipamento possui LEDs que emitem luz vermelha e infravermelha através da folha atingindo o receptor, que é o responsável por fazer a conversão e mostrar o índice SPAD. De forma geral, quanto mais intenso for o verde presente na folha, maior será o índice SPAD (Minolta, 1989). Já o Dualex (“dual excitation”) é um dispositivo portátil que combina a fluorescência e transmitância da luz para determinar o estado de N da folha. Ele calcula o conteúdo de clorofila da folha (CHL), o índice de flavonoides (FLV) obtido através da absorvância da luz UV pela epiderme da folha e o índice de balanço de nitrogênio (NBI) determinado pela relação entre CHL e FLV. A determinação desses índices só é possível pela emissão de luz em diferentes comprimentos de onda, um a 375 nm (absorvido pelos polifenóis) e outro de referência a 650 nm (região do vermelho), que penetra na epiderme da folha e consegue identificar polifenóis e a clorofila (Goulas et al., 2004; Silva, 2019). A concentração de N na folha pode ser estimada de forma indireta, pois há correlação positiva entre os teores de CHL e NBI, dependendo da espécie e de calibração apropriada. O Dualex tem sido utilizado para estimar a concentração de N na folha de diferentes espécies (Tremblay et al., 2009).

Pensando em ganhos operacionais a utilização de sensoriamento remoto pode contribuir para o melhor entendimento da dinâmica do N em grandes áreas, visto que a radiação refletida pela planta permite monitorar as fases de desenvolvimento e crescimento do milho. Esse monitoramento pode influenciar na tomada de decisões, como a quantificação de N na cultura do milho, identificando as diferentes doses que podem ser aplicadas na área em que a cultura está se desenvolvendo (Andrade et al., 2019; Zhang et al., 2020). Os sensores que são utilizados permitem a mensuração do objeto sem a necessidade do contato direto (Figueiredo, 2005; Elachi & Van Zyl, 2021). Vários métodos de sensoriamento remoto podem estimar o conteúdo de clorofila das folhas, incluindo sensoriamento remoto de alta altitude, sensoriamento remoto de baixa altitude e sensoriamento remoto baseado no solo. O sensoriamento remoto de alta altitude por satélites ou aeronaves tripuladas pode cobrir áreas abrangentes de plantações, mas os resultados das imagens são pobres e sensíveis às nuvens, portanto, esta abordagem é ineficaz durante a estação chuvosa por exemplo. O sensoriamento remoto de baixa altitude conectado a um Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada (VANTs) pode ser usado sempre que as plantas precisam de monitoramento, enquanto o sensoriamento remoto baseado no solo pode realizar simultaneamente medições de folhas diretas e medições acima do dossel usando diferentes dispositivos, como câmeras para consumidores em uma plataforma, espectrômetros e medidores de monitoramento de clorofila (Putra et al., 2021). Estes sensores podem ser acoplados em satélites, aviões, VANTs, tratores, todos com o mesmo intuito de fornecer informações do objeto de estudo (Fox & Walthall, 2008; De Almeida, 2010; Shiratsuchi, 2014). O uso de sensores acoplados em VANTs está dinamizando a obtenção de imagens, pois permite a captação de imagens com resolução em escala de centímetros, permitindo voos em intervalos curtos de tempo, evitando a presença de sombra nas imagens. O rápido desenvolvimento do sensoriamento remoto tem possibilitado estudar os processos e mudanças na agricultura e, também fornecer subsídios importantes nas práticas relevantes, inclusive operacionalmente. Desta forma, neste estudo foi possível identificar a capacidade dos sensores portáteis de clipe e os aéreos na estimativa de clorofila e estado nutricional do N na cultura do milho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Adubação nitrogenada no milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma cultura extremamente importante para economia mundial, sendo o Brasil o terceiro maior produtor desta cultura. A previsão para safra brasileira 2020/21 é de 85,7 milhões de toneladas (CONAB, 2021). Contudo, a produtividade de milho no Brasil é considerada baixa quando comparada a países como os Estados Unidos e a China, os maiores produtores mundiais. A baixa eficiência do uso de fertilizantes, principalmente os nitrogenados, pode estar associada a baixa produtividade (Frazão et al., 2014). Os nutrientes essenciais estão envolvidos diretamente envolvidos no metabolismo das plantas. Quando a deficiência de um nutriente atinge determinado nível, as plantas apresentam sintomas que só podem ser restaurados com a suplementação de um elemento relacionado (Li et al., 2020), diante disso, avaliar o status nutricional da planta é primordial. O nitrogênio (N) é armazenado nas células do mesófilo e está envolvido na síntese de proteínas e desempenha papel vital no crescimento dos caules e folhas e no desenvolvimento dos frutos, sendo o elemento nutriente mais crítico para a produção (Li et al., 2020).

O gerenciamento de N é a chave para aumentar a sustentabilidade da produção agrícola. O nitrogênio (N) é o mais complexo dos nutrientes em relação gestão e recomendação, pela multiplicidade de reações químicas e biológicas que controlam sua disponibilidade, que, por sua vez, são fortemente influenciados por condições edafoclimáticas (Sainju et al., 2017). Pois a fertilização excessiva com N aumenta a poluição e diminui o retorno econômico, bem como a qualidade e a quantidade da produção, assim a fertilização inadequada pode tornar as plantas mais vulneráveis a pragas e doenças, reduzindo a qualidade e a quantidade da produção (Putra et al., 2021).

Para que o milho expresse seu potencial produtivo, exige grande demanda nutricional, e o nitrogênio é necessário em grandes quantidades (Okumura et al., 2011). O N é integrante da clorofila, pigmento presente em cloroplastos e responsável pela

fotossíntese e participa da composição de proteínas e enzimas essenciais para o desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular (Lang et al., 2019). O fornecimento deste nutriente para a cultura é feito, em geral, com o uso de fertilizante mineral nitrogenado sintético, contudo, a perda deste nutriente pode ser estimada de 50 a 75%, devido a absorção ineficiente das plantas e lixiviação no solo (Asghari & Cavagnaro 2011). Então, todos os tipos de N disponíveis para cultura têm que se levar em consideração que, quando se tem a dose ideal de nitrogênio poderá ter o aumento no comprimento da raiz, no peso seco radicular, na área foliar e no rendimento de grãos. Contudo, a dose excessiva e inadequada de N é relatada como inibidora do crescimento e desenvolvimento de raízes e atraso na senescência da cultura (Liu et al., 2017). Além dos prejuízos para a produtividade do milho a dose excessiva pode causar sérios problemas ambientais como eutrofização e contaminação de ecossistemas (Liu et al., 2017).

O amônio e o nitrato são as duas principais formas de N que as plantas adquirem, preferencialmente para sustentar suas necessidades de N (Hachiya e Sakakibara, 2017). Por outro lado, o N orgânico é a forma mais abundante que contribui para a biodisponibilidade do N durante a decomposição da matéria orgânica, por meio da liberação de aminoácidos e poucos peptídeos (Buoso et al., 2021). A ureia é a principal fonte de N na agricultura mundial que se destaca por sua elevada concentração de nitrogênio, facilidade de transporte, alta solubilidade e facilidade de mistura com outras fontes. No entanto, a ureia possui elevada suscetibilidade à volatilização de amônia (NH_3), que é mais intensificado em países de regiões tropicais, como o Brasil. No Brasil, a adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho é realizada, principalmente com ureia aplicada em superfície e sem incorporação. Este modo de aplicação da ureia e as condições climáticas contribuem para o aumento das perdas por volatilização (Cantarella et al., 2018).

O milho segunda safra tem sido viável economicamente para o produtor, e tornou-se importante em algumas regiões específicas do Brasil, e o conhecimento da dose de N a ser adicionada na semeadura e em cobertura é primordial (Casagrande & Fornasieri Filho, 2002). A alta demanda de N para o milho, associada com a baixa capacidade de solos não fertilizados para abastecê-lo, as altas perdas de N no solo, com o custo elevado desses fertilizantes reforçam a importância de um manejo eficiente de fertilizantes nitrogenados para obter rendimento competitivo. A falta de nitrogênio pode levar à deficiência de clorofila nas plantas, resultando em taxa reduzida de fotossíntese e,

finalmente, causa redução na produção, portanto, o diagnóstico oportuno e eficiente do status do nitrogênio nas plantas durante os diferentes estágios de crescimento é fundamental para o manejo preciso de nutrientes (Ye et al., 2020a). Tradicionalmente, a análise química tem sido usada como o principal método para analisar o conteúdo de nitrogênio nas plantas, e depende de uma abordagem destrutiva, geralmente exige muito esforço, tempo, dinheiro e nutrientes (Ye et al., 2020b). Durante as últimas décadas, vários métodos espectroscópicos foram aplicados para investigar a ampla variedade de propriedades biofísicas e bioquímicas em plantações. Portanto, a fim de aumentar a eficiência da fertilização com nitrogênio, é imprescindível o estudo de sensores que estimam o status de N nas folhas e permitem que o produtor faça a aplicação em doses e estágios adequados, de acordo com a exigência da cultura, de forma a reduzir custos, impactos ambientais e aumentar a produtividade. Assim, estratégias de manejo de precisão podem garantir alto rendimento da cultura, aumentar a eficiência do uso de N e reduzir a perda de N para o meio ambiente.

2.2 Sensores portáteis para estimar nitrogênio

A estimativa do teor de nitrogênio da folha permite que os agricultores decidam a quantidade de fertilização necessária em locais específicos para a aplicação nas lavouras (Raj et al., 2021). E, o teor de N nas plantas está altamente correlacionado com o teor de clorofila, que é um bom indicador da saúde das plantas. O conteúdo de clorofila nas folhas das plantas pode ser determinado em testes de laboratório, em que o tecido da folha é dissolvido em solvente orgânico e analisado em um espectrofotômetro, sendo essa uma análise destrutiva de tecidos vegetais que pode medir com segurança o conteúdo de clorofila e o status de nitrogênio (Křížová et al., 2021). As desvantagens desses métodos são o alto custo e a incompreensibilidade dos resultados do laboratório para leigos, e, conseqüentemente, os pesquisadores estudaram o potencial de estimar o conteúdo de nitrogênio por meio da tecnologia de sensoriamento remoto; por exemplo, um sistema de detecção proximal com base em sensores ópticos pode estimar o conteúdo de clorofila a partir do nível de verdura das folhas (Putra et al., 2021).

As recomendações de uso de N na cultura do milho e outras cultivares de importância econômica vem sendo realizada nos últimos anos com o uso de sensores portáteis como o Soil Plant Analysis Development (SPAD), para estimar a presença deste nutriente na planta. O SPAD determina o conteúdo relativo de clorofila das folhas com

base na absorção de feixes de luz de 650 nm usando luz infravermelha de comprimento de onda de 940 nm, fornece os dados de conteúdo de clorofila como valores SPAD, que são calculados a partir da intensidade da luz vermelha e infravermelha que passam pela folha (Víg et al., 2012). O uso deste equipamento possibilita medir rapidamente o conteúdo relativo de clorofila das folhas das plantas, e sua aplicação ao manejo de N em tempo real podendo melhorar a eficiência do uso de N, sendo uma das ferramentas de diagnóstico mais comumente aplicadas para medir o status do nitrogênio, fornecendo uma abordagem rápida e não destrutiva (Shi et al., 2021). O uso bem-sucedido do medidor SPAD pode ser afetado por muitos fatores, como cultivar, ano, estágio de crescimento, ponto de medição na folha, impactos do estresse da cultura, espessura e posição da folha (Yuan et al., 2016). A vantagem do medidor SPAD está em seu teste rápido e não destrutivo, no entanto, ele pode medir apenas um único ponto por vez e requer uma operação de fixação (Tan et al., 2021). Em contrapartida o SPAD é um indicador confiável que pode representar o teor de clorofila reconhecido no mundo.

Numerosos indicadores indiretos foram desenvolvidos para estimar o status de N da cultura, com base no medidor de clorofila portátil, dentre eles o Dualex sendo essa técnica de sensoriamento remoto (Ravier et al., 2021). O sensor de fluorescência de folha Dualex é uma ferramenta eficaz e promissora para monitorar o estado de N da cultura (Dong et al., 2021). O sensor de fluorescência Dualex é um dispositivo portátil de clipe de folha não destrutiva, não invasiva, rápida e simples de usar sendo uma ferramenta eficaz e promissora para monitorar o estado de N da cultura, baseado na medição de polifenólicos, que são metabólitos secundários afetados por fatores de estresse (Tremblay et al., 2007). Segundo Goulas et al., (2004) este aparelho pode estimar os compostos fenólicos da folha a partir da medição da absorção de UV (375 nm) da epiderme da folha pela dupla excitação da fluorescência da clorofila, sendo que o valor da absorbância de UV está diretamente relacionado à quantidade de polifenólicos. O dispositivo usa um loop de feedback que equaliza o nível de fluorescência induzido por uma luz vermelha de referência para o nível de fluorescência induzida por luz ultravioleta, permitindo a medição rápida de folhas anexadas, mesmo em condições de campo (Tremblay et al., 2009). Como outros sensores de clipe de folha, os sensores SPAD e Dualex costumam ser comparados (Gabriel et al., 2019).

Embora esses instrumentos espectrais forneçam acesso rápido a informações sobre o status de N da cultura, eles são caros e requerem conhecimento técnico, o que torna sua aplicação de curto prazo desafiadora. Eles permitem medir apenas pequena parte

da folha, sendo geralmente necessário grande número de observações aleatórias para obter o valor médio representativo. Além disso, as medições estão sujeitas ao viés do operador na seleção de folhas e para o monitoramento de grandes áreas, a coleta de dados de medidores portáteis é muito demorada (Jia et al., 2004). Mesmo com essas contrapartidas, as informações sobre o status real da planta são cruciais para a tomada de decisões e programação de operações agrícolas, incluindo fertilização, irrigação ou controle de pragas, e, com os resultados permitem o aumento da produtividade primária, alocação de fontes de maneira razoável e a adaptação do manejo agrícola para garantir os maiores rendimentos das safras (Zhai et al., 2020; Křížová et al., 2021). Assim, o uso de sensores portáteis como o SPAD e Dualex possibilitam a avaliação do status de N para uso eficiente deste fertilizante.

2.3 Sensores remotos para estimar nitrogênio

Uma agricultura mais produtiva e sustentável é necessária para garantir a segurança alimentar diante das mudanças climáticas (Lassalle, 2021). Graças às tecnologias de agricultura de precisão, melhor manejo da irrigação, fertilização e infecções de pragas e doenças já é possível (Weiss et al., 2020). Os RPAs (Remotely Piloted Aircrafts), popularmente conhecidos como drones e vants estão sendo frequentemente utilizados para manejo na agrícola. Estes equipamentos apresentam alta flexibilidade, facilidade de operação, alta resolução espacial, alta resolução temporal, custo-benefício favorável e rápida aquisição de dados (Deng et al., 2018).

O desenvolvimento de sensores permite mensurar diversas alterações nas plantas. Dentre os sensores utilizados para levantamento agrícola os sensores de luz visível (Câmeras digitais - RGB) se destacam, pois são baratos e fáceis de operar (Baresel et al., 2017). Nos últimos anos, câmeras digitais e programas de análise de imagem têm sido usados para quantificar o “verde” da folhagem como medidas indiretas do status de N da cultura, sendo que as imagens digitais registram informações como quantidades de luz vermelha, verde e azul (RGB) (Rorie et al., 2011). Uma das principais vantagens dessa tecnologia é que ela possibilita o levantamento de grandes áreas de forma não invasiva e não destrutiva (Lassalle, 2021). O uso de informações derivadas de imagens digitais convencionais, RGB, pode representar uma alternativa de baixo custo ao uso de informações multiespectrais ou hiperespectrais para a formulação de índices de vegetação além de ser amplamente utilizadas para estimativa da nutrição com nitrogênio (Shi et al.,

2021). A aplicação desta técnica tem sido empregada para avaliação de sensoriamento remoto em condições de campo, fornecendo ampla gama de dados sob diferentes condições de estresse e espécies, incluindo estresse hídrico, doenças foliares e nutricionais. O custo adicional das plataformas aéreas pode ser compensado pela economia de tempo, redução do trabalho manual no campo e integração com outras tecnologias (Vergara-Díaz et al., 2016).

Com o desenvolvimento de tecnologias e a invenção de novos sensores, os drones estão encontrando inúmeras aplicações no campo da agricultura. A facilidade e autonomia que os RPAs oferecem é sua principal característica. Por exemplo, eles podem ser voados manualmente ou por GPS programados caminhos pré-determinados permitindo a aquisição de imagens estabilizadas (Stehr, 2015). Dentre as aplicações do uso de drones na agricultura pode-se citar aplicação de fertilizantes em taxa variável, vigilância de doenças, patógenos, irrigação, análise de solo, plantas daninhas, além de aplicações na silvicultura e na pecuária (Ahmad et al., 2021). Entretanto, pilotar um drone é uma habilidade, e os reguladores requerem indivíduos treinados e certificados para operar, além do drone ter a carga útil e a variedade de voos, por isso a Internet das Coisas (IoT), e a Internet do Drones (IoD) fornecem serviços genéricos para várias aplicações de drones, como entrega de pacotes, vigilância de tráfego, busca e resgate e muito mais (Ayamga et al., 2021).

A avaliação de sensores RGB embarcados em RPA para verificar a sua eficiência em estimar N na cultura do milho é de suma importância, pois o método tradicional de detecção de clorofila em plantações é realizado, principalmente por meio de análises químicas, o que é demorado e trabalhoso. A pesquisa teórica relatou que a clorofila da planta absorve a luz azul e a luz vermelha e reflete a luz verde durante a fotossíntese, assim, a análise de imagem óptica da reflexão da luz visível poderia apoiar a análise rápida *in-situ* do conteúdo de clorofila em plantações de campo e tem sido amplamente aplicada (Lang et al., 2019). Esses mesmos estudiosos usaram a imagem RGB (vermelho, verde, azul) na faixa de luz visível para detectar o conteúdo de clorofila em diferentes escalas de cultivo. Sabe-se que os componentes R, G e B estavam localizados a 622-760 nm, 492-577 nm e 435-450 nm, respectivamente, e a clorofila *a* e *b* estão entre 435 e 450 nm, e a absorção espectral existe em 622 ~ 760 nm, e há características típicas de reflexão em 492 ~ 577 nm (Ma et al., 2018). Portanto, R, G, B e o índice de vegetação com característica de cor podem ser usados na detecção de clorofila no milho.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad, A., Ordoñez, J., Cartujo, P., & Martos, V. (2021). Remotely Piloted Aircraft (RPA) in Agriculture: A Pursuit of Sustainability. *Agronomy*, *11*(1), 7.
- Andrade, R., Hott, M., De Magalhaes Junior, W. C. P., Oliveira, P. D., & Oliveira, J. (2019). 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)*.
- Asghari, H. R., & Cavagnaro, T. R. (2011). Mycorrhizas arbusculares melhoram a interceptação vegetal de nutrientes lixiviados. *Biologia Vegetal Funcional*, *38*, 219–226.
- Ayamga, M., Akaba, S., & Nyaaba, A. A. (2021). Multifaceted applicability of drones: A review. *Technological Forecasting and Social Change*, *167*, 120677.
- Baresel, J. P., Rischbeck, P., Hu, Y., Kipp, S., Barmeier, G., Mistele, B., & Schmidhalter, U. (2017). Use of a digital camera as alternative method for non-destructive detection of the leaf chlorophyll content and the nitrogen nutrition status in wheat. *Computers and Electronics in Agriculture*, *140*, 25-33.
- Bayer, C., Gomes, J., Zanatta, J. A., Vieira, F. C. B., de Cássia Piccolo, M., Dieckow, J., & Six, J. (2015). Soil nitrous oxide emissions as affected by long-term tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in Southern Brazil. *Soil and Tillage research*, *146*, 213-222.
- Benati, J. A., Nava, G., & Mayer, N. A. (2021). Índice spad para diagnóstico do estado de nitrogênio em pessegueiro ‘Esmeralda’. *Revista Brasileira de Fruticultura*, *43*(1).
- Buoso, S., Tomasi, N., Said-Pullicino, D., Arkoun, M., Yvin, J. C., Pinton, R., & Zanin, L. (2021). Characterization of physiological and molecular responses of Zea mays seedlings to different urea-ammonium ratios. *Plant Physiology and Biochemistry*, *162*, 613-623.
- Cantarella, H., Otto, R., Soares, J. R., & de Brito Silva, A. G. (2018). Agronomic efficiency of NBPT as a urease inhibitor: A review. *Journal of advanced research*, *13*, 19-27.
- Casagrande, J. R. R., & Fornasier Filho, D. (2002). Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *37*, 33-40.

- Chen, P., Haboudane, D., Tremblay, N., Wang, J., Vigneault, P., & Li, B. (2010). New spectral indicator assessing the efficiency of crop nitrogen treatment in corn and wheat. *Remote Sensing of Environment*, 114(9), 1987-1997.
- Coelho, F. S., Fontes, P. C. R., Finger, F. L., & Cecon, P. R. (2012). Avaliação do estado nutricional do nitrogênio em batateira por meio de polifenóis e clorofila na folha. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47, 584-592.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. 2021. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, Brasília, DF, v. 8, safra 2020/21, n. 12, décimo segundo levantamento, setembro 2021.
- De Almeida, C. M. (2010). Aplicação dos sistemas de sensoriamento remoto por imagens e o planejamento urbano regional. *arq. urb*, (3), 98-123.
- Deng, L., Mao, Z., Li, X., Hu, Z., Duan, F., & Yan, Y. (2018). UAV-based multispectral remote sensing for precision agriculture: A comparison between different cameras. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 146, 124-136.
- Dong, R., Miao, Y., Wang, X., Chen, Z., & Yuan, F. (2021). Improving maize nitrogen nutrition index prediction using leaf fluorescence sensor combined with environmental and management variables. *Field Crops Research*, 269, 108180.
- Elachi, C., & Van Zyl, J. J. (2021). *Introduction to the physics and techniques of remote sensing*. John Wiley & Sons.
- Elazab, A., Ordóñez, R. A., Savin, R., Slafer, G. A., & Araus, J. L. (2016). Detecting interactive effects of N fertilization and heat stress on maize productivity by remote sensing techniques. *European Journal of Agronomy*, 73, 11-24.
- Faquin, V. (2005). Nutrição mineral de plantas. Lavras:UFLA/FAEPE.
- Figueiredo, D. (2005). Conceitos básicos de sensoriamento remoto. *São Paulo*.
- Fontes, P. D. (2016). Nutrição mineral de plantas: anamnese e diagnóstico. *Viçosa, Editora UFV*.
- Fox, R. H., & Walthall, C. L. (2008). Crop monitoring technologies to assess nitrogen status. *Nitrogen in agricultural systems*, 49, 647-674.
- Frazão, J. J., Silva, Á. R. D., Silva, V. L. D., Oliveira, V. A., & Corrêa, R. S. (2014). Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18, 1262-1267.
- Gabriel, J. L., Zarco-Tejada, P. J., López-Herrera, P. J., Pérez-Martín, E., Alonso-Ayuso, M., & Quemada, M. (2017). Airborne and ground level sensors for monitoring nitrogen status in a maize crop. *Biosystems Engineering*, 160, 124-133.

- Gabriel, J. L., Quemada, M., Alonso-Ayuso, M., Lizaso, J. I., & Martín-Lammerding, D. (2019). Predicting N status in maize with clip sensors: Choosing sensor, leaf sampling point, and timing. *Sensors*, 19(18), 3881.
- Goulas, Y., Cerovic, Z. G., Cartelat, A., & Moya, I. (2004). Dualex: a new instrument for field measurements of epidermal ultraviolet absorbance by chlorophyll fluorescence. *Applied Optics*, 43(23), 4488-4496.
- Hachiya, T., & Sakakibara, H. (2017). Interactions between nitrate and ammonium in their uptake, allocation, assimilation, and signaling in plants. *Journal of Experimental Botany*, 68(10), 2501-2512.
- Hurtado, S. M. C., Resende, Á. V. D., Silva, C. A., Corazza, E. J., & Shiratsuchi, L. S. (2011). Clorofilômetro no ajuste da adubação nitrogenada em cobertura para o milho de alta produtividade. *Ciência Rural*, 41, 1011-1017.
- Jia, L., Chen, X., Zhang, F., Buerkert, A., & Römheld, V. (2004). Use of digital camera to assess nitrogen status of winter wheat in the northern China plain. *Journal of Plant Nutrition*, 27(3), 441-450.
- Křížová K., Kadeřábek J., Novák V., Linda R., Kurešová Ga., Šařec P. (2021) Using a single-board computer as a low-cost instrument for SPAD value estimation through colour images and chlorophyll-related spectral indices. *Ecological Informatics*. 101496.
- Lang, Q., Zhiyong, Z., Longsheng, C., Hong, S., Minzan, L., Li, L., & Junyong, M. (2019). Detection of chlorophyll content in Maize Canopy from UAV Imagery. *IFAC-PapersOnLine*, 52(30), 330-335.
- Lassalle, G. (2021). Monitoring natural and anthropogenic plant stressors by hyperspectral remote sensing: Recommendations and guidelines based on a meta-review. *Science of The Total Environment*, 147758.
- Leghari, S. J., Wahocho, N. A., Laghari, G. M., HafeezLaghari, A., MustafaBhabhan, G., HussainTalpur, K., ... & Lashari, A. A. (2016). Role of nitrogen for plant growth and development: A review. *Advances in Environmental Biology*, 10(9), 209-219.
- Li, D., Li, C., Yao, Y., Li, M., & Liu, L. (2020). Modern imaging techniques in plant nutrition analysis: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 174, 105459.
- Liu, Z., Zhu, K., Dong, S., Liu, P., Zhao, B., & Zhang, J. (2017). Effects of integrated agronomic practices management on root growth and development of summer maize. *European Journal of Agronomy*, 84, 140-151.

- Ma, X., Feng, J., Guan, H., & Liu, G. (2018). Prediction of chlorophyll content in different light areas of apple tree canopies based on the color characteristics of 3D reconstruction. *Remote Sensing*, 10(3), 429.
- Martins, R. N., Pinto, F. D. A. D. C., Moura, A. D. D., Siqueira, W. D. C., & Villar, F. M. D. M. (2020). Nitrogen variable rate fertilization in corn crop prescribed by optical sensor. *Journal of Plant Nutrition*, 43(11), 1681-1688.
- Masvaya, E. N., Nyamangara, J., Descheemaeker, K., & Giller, K. E. (2017). Tillage, mulch and fertiliser impacts on soil nitrogen availability and maize production in semi-arid Zimbabwe. *Soil and Tillage Research*, 168, 125-132.
- Minolta, K. (1989). Chlorophyll meter SPAD-502 instruction manual. *Minolta Co., Ltd., Radiometric Instruments Operations Osaka, Japan*.
- Mortate, R. K., Nascimento, E. F., de Souza Gonçalves, E. G., & de Paula Lima, M. W. (2018). Resposta do milho (*Zea mays* L.) à adubação foliar e via solo de nitrogênio. *Revista de Agricultura Neotropical*, 5(1), 1-6.
- Neves, O. S. C., Carvalho, J. G. D., Martins, F. A. D., Pádua, T. R. P. D., & Pinho, P. J. D. (2005). Uso do SPAD-502 na avaliação dos teores foliares de clorofila, nitrogênio, enxofre, ferro e manganês do algodoeiro herbáceo. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 40, 517-521.
- Okumura, R. S., de Cinque Mariano, D., & Zaccheo, P. V. C. (2011). Use of nitrogen fertilizer in corn: Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho: uma revisão. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*.
- Putra, B. T. W., Wirayuda, H. C., Syahputra, W. N. H., & Prastowo, E. (2021). Evaluating in-situ maize chlorophyll content using an external optical sensing system coupled with conventional statistics and deep neural networks. *Measurement*, 110482.
- Raj, R., Walker, J. P., Pingale, R., Banoth, B. N., & Jagarlapudi, A. (2021). Leaf nitrogen content estimation using top-of-canopy airborne hyperspectral data. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 104, 102584.
- Ravier, C., Sabatier, R., Beillouin, D., Meynard, J. M., Trépos, R., & Jeuffroy, M. H. (2021). Decision rules for managing N fertilization based on model simulations and viability assessment. *European Journal of Agronomy*, 125, 126247.
- Rorie, R. L., Purcell, L. C., Karcher, D. E., & King, C. A. (2011). The assessment of leaf nitrogen in corn from digital images. *Crop Science*, 51(5), 2174-2180.
- Sainju, U. M. (2017). Determination of nitrogen balance in agroecosystems. *MethodsX*, 4, 199-208.

- Shi, P., Wang, Y., Xu, J., Zhao, Y., Yang, B., Yuan, Z., & Sun, Q. (2021). Rice nitrogen nutrition estimation with RGB images and machine learning methods. *Computers and Electronics in Agriculture*, 180, 105860.
- SHIRATSUCHI, L. (2014). O avanço dos drones. *Embrapa Agrossilvipastoril-Artigo de divulgação na mídia (INFOTECA-E)*.
- Silva, D. R. G., Pereira, A. F., Dourado, R. L., Silva, F. P. D., Ávila, F. W., & Faquin, V. (2011). Productivity and efficiency of nitrogen fertilization in maize under different levels of urea and NBPT-treated urea.
- Silva, J. M. D. (2019). Índices nitrogenados, biomassa e produção de pimentão em SLAB associados a doses de nitrogênio via gotejamento.
- Stehr, N. J. (2015). Drones: The newest technology for precision agriculture. *Natural Sciences Education*, 44(1), 89-91.
- Tan, L., Zhou, L., Zhao, N., He, Y., & Qiu, Z. (2021). Development of a low-cost portable device for pixel-wise leaf SPAD estimation and blade-level SPAD distribution visualization using color sensing. *Computers and Electronics in Agriculture*, 190, 106487.
- Tremblay, N., Wang, Z., & Belec, C. (2009). Performance of Dualex in spring wheat for crop nitrogen status assessment, yield prediction and estimation of soil nitrate content. *Journal of Plant Nutrition*, 33(1), 57-70.
- Tremblay, N., Wang, Z., & Bélec, C. (2007). Evaluation of the Dualex for the assessment of corn nitrogen status. *Journal of plant nutrition*, 30(9), 1355-1369.
- Vergara-Díaz, O., Zaman-Allah, M. A., Masuka, B., Hornero, A., Zarco-Tejada, P., Prasanna, B. M., ... & Araus, J. L. (2016). A novel remote sensing approach for prediction of maize yield under different conditions of nitrogen fertilization. *Frontiers in Plant Science*, 7, 666.
- Vidigal, S. M., de Carvalho Lopes, I. P., Puiatti, M., de Freitas Ribeiro, M. R., & Sedyama, M. A. N. (2018). SPAD index in the diagnosis of nitrogen status in cauliflower as a function of nitrogen fertilization. *Científica*, 46(3), 307-314.
- Víg, R., Huzsvai, L., Dobos, A., & Nagy, J. (2012). Systematic measurement methods for the determination of the SPAD values of maize (*Zea mays* L.) canopy and potato (*Solanum tuberosum* L.). *Communications in soil science and plant analysis*, 43(12), 1684-1693.
- Weiss, M., Jacob, F., & Duveiller, G. (2020). Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. *Remote Sensing of Environment*, 236, 111402.

- Ye, X., Abe, S., & Zhang, S. (2020a). Estimation and mapping of nitrogen content in apple trees at leaf and canopy levels using hyperspectral imaging. *Precision Agriculture*, 21(1), 198-225.
- Ye, X., Abe, S., Zhang, S., & Yoshimura, H. (2020b). Rapid and non-destructive assessment of nutritional status in apple trees using a new smartphone-based wireless crop scanner system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173, 105417.
- Yuan, Z., Cao, Q., Zhang, K., Ata-Ul-Karim, S. T., Tian, Y., Zhu, Y., ... & Liu, X. (2016). Optimal leaf positions for SPAD meter measurement in rice. *Frontiers in plant science*, 7, 719.
- Zhai, Z., Martínez, J. F., Beltran, V., & Martínez, N. L. (2020). Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, 105256.
- Zhang, M., Zhou, J., Sudduth, K. A., & Kitchen, N. R. (2020). Estimation of maize yield and effects of variable-rate nitrogen application using UAV-based RGB imagery. *Biosystems Engineering*, 189, 24-35.
- Zhu, S., Vivanco, J. M., & Manter, D. K. (2016). Nitrogen fertilizer rate affects root exudation, the rhizosphere microbiome and nitrogen-use-efficiency of maize. *Applied Soil Ecology*, 107, 324-333.

4. OBJETIVOS

4.1 GERAL

Avaliar a utilização de sensores portáteis SPAD e Dualex, avaliar a utilização de VANT para estimar diferentes valores de clorofila e auxiliar no manejo do nitrogênio para o milho.

4.2 ESPECÍFICOS

1. Avaliar o comportamento do Dualex em resposta ao SPAD;
2. Avaliar a utilização de sensor RGB acopladas no VANT para estimar clorofila;
3. Propor metodologia para utilização de imagens RGB para estimar N.

5. CAPÍTULO I

(Normas de acordo com a Biosystems Engineering)

Utilização dos sensores SPAD e Dualex em diferentes áreas para estimar nitrogênio em milho em condições de Cerrado

RESUMO: O manejo do nitrogênio requer tecnologias fáceis de usar que trazem benefícios econômicos e ambientais, assim, os sensores clip (SPAD e Dualex) podem fornecer informações rápidas e eficientes em tempo real para auxiliar o produtor no monitoramento do estado do N na cultura. O objetivo deste estudo foi avaliar o potencial de utilização do Dualex em relação ao SPAD em diferentes áreas. Em 2019 e 2020 foram realizados cinco experimentos com cinco taxas de N e quatro repetições no sudoeste goiano, Brasil. As leituras de SPAD e Dualex foram realizadas nos estádios V6 e V9, essas folhas também foram coletadas para análise química de tecido vegetal para determinar os teores de N. Com os sensores portáteis houve correlação positiva para o índice SPAD, clorofila e balanço de nitrogênio, já para os índices flavonoide e antocianina a correlação foi negativa. Este estudo demonstrou que os índices obtidos pelos sensores portáteis de clip Dualex e SPAD podem ser utilizados para avaliar o estado nutricional nitrogenado do milho nos estados de desenvolvimento do milho V6 e V9, possuindo alta correlação com os teores de N real da folha de milho. Além disso, a utilização do Dualex para a avaliação do estado nutricional nitrogenado da planta é tão eficiente quando o sensor SPAD.

PALAVRAS-CHAVE: *Zea mays*; sensores portáteis; conteúdo de nitrogênio foliar.

Use of SPAD and Dualex sensors in different areas to estimate nitrogen in maize under Cerrado conditions

ABSTRACT: Nitrogen management requires easy-to-use technologies that bring economic and environmental benefits; thus, clip sensors (SPAD and Dualex) can provide fast and efficient real-time information to assist the farmer in monitoring the N status in the crop. The aim of this study was to evaluate the potential use of Dualex in relation to SPAD in different areas. In 2019 and 2020, five experiments were carried out with five N rates and four repetitions in Southwest Goiano, Brazil. The readings of SPAD and Dualex were collected and tissue analysis in the vegetative stages V6 and V9 was carried out on this same sheet. With the portable sensors it was obtained a positive correlation behavior for SPAD, Chl and NBI, while for the Flav and Anth indices the correlation had a negative effect. In this study, it was shown that the indices obtained by portable sensors with Dualex and SPAD clips can be used to assess the nitrogen nutritional status of corn in the V6 and V9 corn development stages, having a high correlation with the real N contents of the corn leaf. Furthermore, the use of Dualex to assess the plant's nitrogen nutritional status is as efficient as the SPAD sensor.

Key words: *Zea mays*; portable devices; nitrogen contents.

5.1 INTRODUÇÃO

O manejo eficiente do nitrogênio (N) se faz cada dia mais necessário para atender os desafios da nova agricultura, que requer ajustes específicos e em tempo real para cada porção da lavoura, a fim de se buscar benefícios econômicos e ambientais (Thenkabail 2019; Dong et al., 2021). Sabe-se que o nitrogênio é o nutriente absorvido em maior quantidade e que mais influencia a produtividade do milho (Santana et al., 2021). Além disso, é conhecido que os níveis de adubo de cobertura com N suplementar promovem maior inserção da espiga, altura da planta, diâmetro do caule, número de grãos por espiga e massa de 100 grãos (Goes et al., 2014). Já nos solos tropicais, torna-se imprescindível, visto que, os solos não são capazes de fornecer a quantidade suficiente de N (Dhital & Raun, 2016).

Para auxiliar na avaliação da eficiência do manejo do N pode-se lançar mão de métodos tradicionais, tais como a amostragem de folhas e quantificação do teor de N em laboratório. Esse tipo de avaliação, no entanto, além de ser destrutivo, tem elevado custo e longo intervalo entre as coletas das amostras e a obtenção dos resultados (Silva et al., 2009; Padilla et al., 2014; Baresel et al., 2017; Buba & Muhammad, 2020), dificultando o uso da informação para tomada de decisão ainda durante o cultivo.

Alguns sensores portáteis, tais como o clorofilômetro modelo SPAD-502 (Minolta Co., Japão) são capazes de estimar com precisão a clorofila – que é o principal pigmento encontrado em folhas responsável pela cor verde, essencial para o processo de fotossíntese e está associada ao estado nutricional de N nas plantas (Yadav; Ibaraki; Gupta, 2010 VER MARCHNER) . O SPAD-502 utiliza dois diodos emissores de luz nas faixas de 650 e 940 nm em um sistema de clipe para estimar valores de clorofila através da transmitância (Shah; Houborg, McCabe, 2017; Vesali et al., 2017; Chen et al., 2019). O SPAD já demonstrou boas correlações para estimar o N foliar (Piekielek et al., 1995) em várias culturas como milho (Szulc et al., 2021), arroz (Li et al., 2020), alface (Mendoza-Tafolla et al., 2019), trigo (Yue et al., 2020) e maçã (Lee et al., 2019).

Além do SPAD, houve o desenvolvimento de outros sensores para estimar a clorofila e posteriormente correlacionar com doses de N. Com isso, possibilita auxiliar o produtor em tomadas de decisões. Um desses sensores é o Dualex (Force-A, Orsay, França) que além de clorofila (Chl) fornece os polifenóis (flavonoides e antocianina) e o Índice de Nitrogênio Balanceado (NBI) (Liu et al., 2021). Para estimativa de N a adição de flavonoides (Flav) pelo sensor Dualex pode significar melhora na estimativa de N, visto que plantas bem nutridas apresentam poucos flavonoides e plantas com deficiência

de N ocorre o aumento da produção de flavonoides (Cartelat et al., 2005; Tremblay et al., 2012). Desta forma, sendo o inverso da clorofila, então a representação de parâmetros biparamétricos entre Chl e Flav é representada pelo índice de equilíbrio (NBI), ou seja, quanto maior o índice NBI melhor o estado nutricional nitrogenado da planta. E, como hipótese do estudo, tendo que os sensores serão capazes de fornecer as informações necessárias sobre o N foliar, ainda o sensor Dualex, que demonstrou boas correlações para estimar o N foliar, também fornecerá os polifenóis e o NBI importantes para verificar o estado nutricional das plantas. Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar o potencial de utilização do Dualex para a avaliação do estado nutricional nitrogenado da planta e sua eficiência comparada ao SPAD.

5.2 MATERIAIS E MÉTODOS

5.2.1 Áreas experimentais, tratamentos e implantação dos ensaios

O estudo foi desenvolvido em condições de campo, em áreas produtoras de grãos do sudoeste goiano, Brasil, nas safras 2019 (áreas 1, 2 e 3) em sucessão de soja, 2020 (áreas 4 e 5) em sucessão de milho. Antes da implantação dos experimentos, o solo foi amostrado para fins de caracterização química e granulométrica (Tabela 1).

Tabela 3. Caracterização química e granulométrica do solo (camada 00-20 cm) das áreas onde o estudo foi conduzido.

	pH	P	S-SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	M.O.	C.O.	SB	
	CaCl ₂	-- mg dm ⁻³ --			----- cmol _c dm ⁻³ -----					-- g dm ⁻³ --		
Área 1	5,35	7,92	3,7	0,22	2,16	0,58	0,02	1,63	40,4	23,4	2,97	
Área 2	5,75	5,32	5,85	0,31	1,98	0,80	0,02	1,06	29,4	17,05	3,1	
Área 3	5,45	2,26	8,85	0,11	0,99	0,59	0,03	1,06	28,2	16,35	1,69	
Área 4	5,32	7,90	3,5	0,22	2,02	0,51	0,02	1,63	40,4	23,4	2,97	
Área 5	5,3	7,90	3,5	0,17	3,76	1,21	0,09	1,63	42,2	23,8	5,15	
	Areia	Silte	Argila	----- % -----			Classificação textural	Municípios				
Área 1	42	14,5	43,5				Argilosa	Jatai				
Área 2	46	12	42				Argilosa	Rio Verde				
Área 3	63,5	12	24,5				Franco Argilo Arenoso	Rio Verde				
Área 4	42	14,5	43,5				Argilosa	Jatai				
Área 5	47,5	1,3	66,2				Argilosa	Montividiu				

Em cada uma das áreas (Figura 1) foram conduzidos ensaios de manejo de N em milho, com cinco tratamentos e oito repetições. Os tratamentos constaram de doses de N, e a dose escolhida foi decorrente da dose de nitrogênio mais utilizada em campo, sendo de 150 kg/há, refletindo na obtenção de elevadas produtividades, e a partir dessa dose acrescentou duas acima e duas abaixo, sendo: 0, 75, 150, 225 e 300 kg de N aplicadas em cobertura no estágio V3.

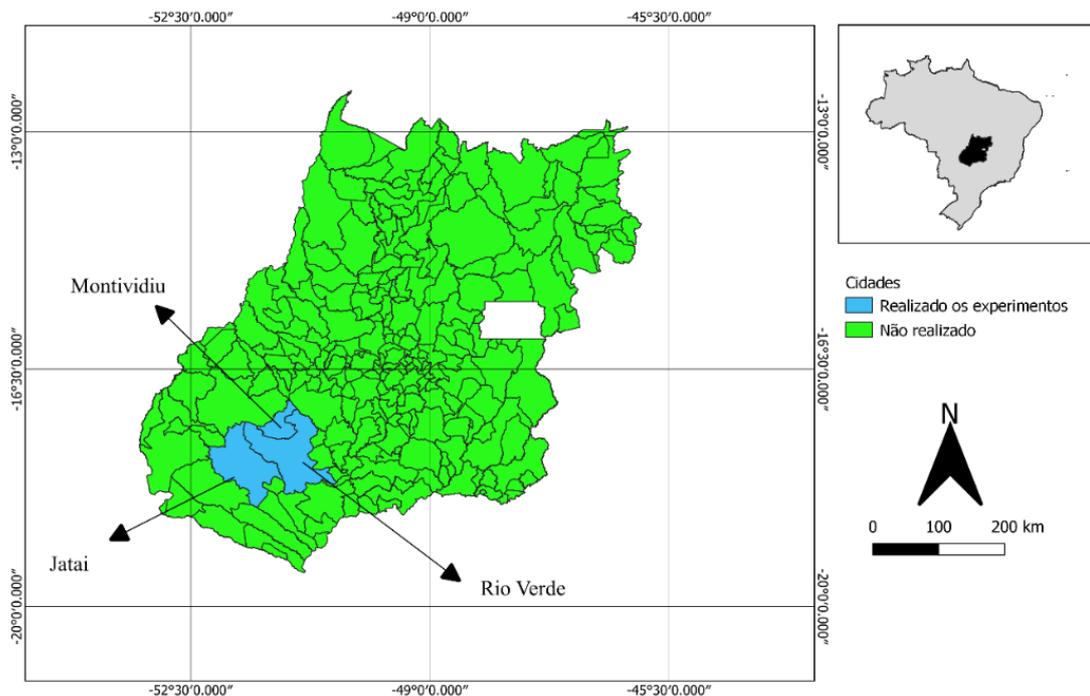


Figura 5. Localização geográfica dos Municípios em que se localizavam as cinco áreas de avaliação.

A semeadura dos ensaios ocorreu no mês de fevereiro de forma mecânica, com a cultura do milho semeada em espaçamento entrelinhas de 0,5 m e com densidade de semeadura de 60.000 plantas ha^{-1} . Todas as parcelas experimentais apresentavam área de 15 m^2 . Sendo implantado o híbrido DKB 390 em todas as áreas. Os fertilizantes fosfato suficiente (90 kg P_2O_5 ha^{-1}) e potássio (75 kg K_2O ha^{-1}) foram aplicados antes da semeadura em cada parcela, para garantir que os nutrientes de fósforo e potássio não fossem limitantes. Além da adubação nitrogenada que foi adicionado na cobertura quando a cultura atingiu estágio V3, os demais tratos culturais incluindo adubação com outros nutrientes, foram realizados conforme necessidade e recomendação para a cultura, ainda as plantas estavam em condições de campo sem exposição a restrição hídrica.

5.2.2 Determinação óptica por sensores portáteis e Análise química de tecido vegetal

Medições indiretas de teor de clorofila foi realizado com o SPAD-502 (Konica Minolta Inc., Japão) é um sensor de clipe de folha para medições individuais com um sensor de LED vermelho (650 nm) e um outro de LED infravermelho (940 nm).

Outro sensor que estima a clorofila e foi utilizado neste trabalho é o Dualex Scientific (Force-A, Orsay, França). O Dualex é um sensor de clipe de folha que estima a clorofila (Chl) nos comprimentos de onda vermelho e infravermelho. Com o Dualex também foram estimados os índices de polifenóis como flavonoides (Flav) e Antocianinas (Anth), através da luz UV e verde, respectivamente. Também foi obtido o índice de equilíbrio de nitrogênio (NBI), que é a razão entre os índices de Chl e Flav (Carletat et al., 2005, Tremblay et al., 2012 e Gabriel et al., 2017).

O NBI-SPAD foi calculado pela utilização dos dois sensores o SPAD e o Dualex, e utilizou-se a unidade de clorofila do SPAD dividido por unidades de flavonoides do Dualex (Padilla et al., 2014). As leituras dos sensores SPAD e Dualex foram obtidas quando as plantas estavam no estágio de desenvolvimento entre V6 e V9. As avaliações foram realizadas sempre no intervalo das 8h30 às 11h. A mensuração do índice SPAD e Dualex foram realizadas no terço médio na folha que define o estágio vegetativo, utilizando o clorofilômetro portátil SPAD-502 e Dualex, e no estágio V9 foram escolhidas outras plantas. Foram feitas duas leituras por planta (uma em cada lado da nervura central da folha), num total de seis leituras por parcela.

Após as leituras de SPAD e Dualex, as folhas foram coletadas e lavadas em água destilada para serem utilizada na análise de tecido com extração a úmido por digestão sulfúrica, obtenção do N pela destilação em micro Kjeldahl e determinação por titulometria (Silva et al., 2009).

5.2.3 Análise estatística dos dados

Via regressão linear simples identificou-se, primeiramente, se as doses de N adicionadas na cultura do milho tinham conseguido alterar a quantidade de teores de N na planta de milho nos estádios V6 e V9. Todas as análises estatísticas foram realizadas pelo programa estatístico RStudio R v.4.0.3 (R Core Team, 2013), em que se utilizou a variável Teores de N como dependente e as doses de N como variável independente. Os dados obtidos foram submetidos à análise de resíduos por meio do teste de Shapiro-Wilk (normalidade, $\alpha = 0,05$) e os dados de Bartlett (homogeneidade) que não atendiam a esses pressupostos foram transformados pelo Box-Cox. Subsequentemente, através da

correlação de Pearson (r) pode-se analisar se o SPAD o Dualex (Chl, Anth, Flav, NBI-Dualex e NBI-SPAD) se correlaciona com os teores de N obtidos pelo método de Kjeldahl. E, os valores de coeficientes de determinação de correlação de Pearson (r) pode ser classificada segundo Hinkle, Wiersma e Jurss, (2003), em uma escala negativa ou positiva de 0,9 a 1 “muito alta”, 0,7 a 0,9 “alta”; 0,5 a 0,7 “moderada”, 0,3 a 0,5 “baixa” e 0,1 a 0,3 “pequena” (Espírito Santo & Daniel, 2017).

5.3 RESULTADOS

Modelos de regressão linear simples foram utilizados para estabelecer as relações entre as doses de nitrogênio adicionadas em cobertura no estádio V6 e V9 e os teores de nitrogênio pelo método de Kjeldahl.

A equação linear foi obtida para relacionar medidas destrutivas de teores de N com as doses de N adicionadas na cultura do milho no estádio V6 (Figura 2), ocorrendo relação linear positiva moderada entre os dois fatores. Com ajuste de ($R^2= 0,76$) área 1, ($R^2= 0,75$) área 2, ($R^2=0,65$) área 3, ($R^2=0,83$) área 4 e ($R^2=0,45$) área 5. Já no estádio V9 da cultura de milho respostas de diferentes doses de N foi representado linear e quadrático para as áreas obtendo coeficiente acima de 0,20 até 0,88 (Figura 2).

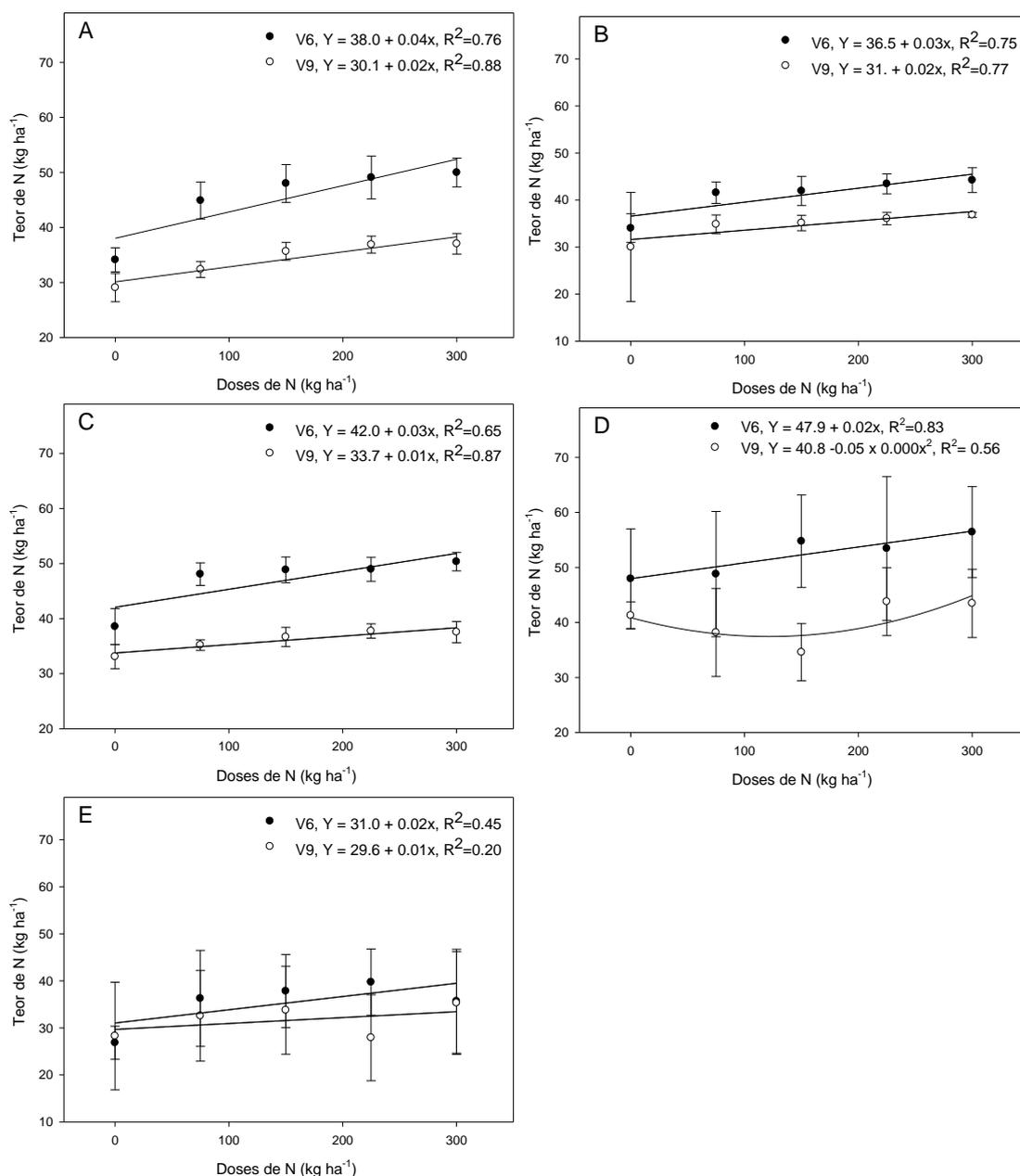


Figura 6. Teores foliares de N no estágio V6 e V9 do milho em função das doses de N nas 5 áreas avaliada Área 1 (A), 2 (B), 3 (C), 4 (D) e 5 (E).

5.3.1 Correlação entre as variáveis dos sensores portáteis Dualex e SPAD com teores de N obtidos no estágio V6

Foram investigadas correlações entre os teores de N obtidos de forma destrutiva e os valores dos índices obtidos com os sensores portáteis (Figura 3). Correlação significativa positivas e negativas entre os sensores portáteis com os teores foliares de N foram obtidos na cultura do milho no estágio V6. As correlações positivas com altas foram entre SPAD e Chl (dualex) e NBI-dualex e NBI-SPAD. As correlações mais fortes

ocorreram na área 1, 2 e 3 classificada como alta, nas áreas 4 moderada e 5 baixas (Figura 3). As correlações negativas foram observadas para as variáveis flavonoides e antocianinas.

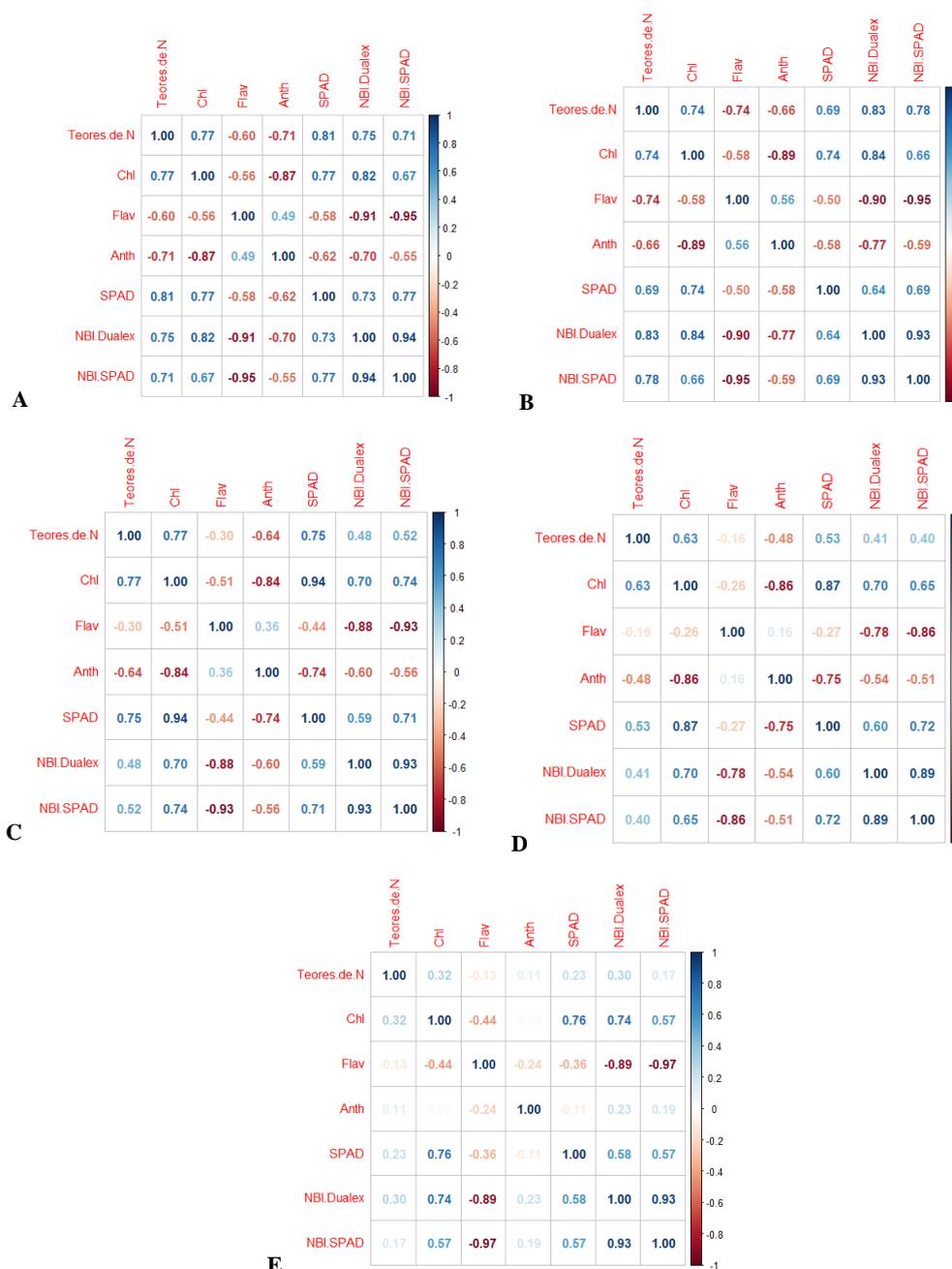


Figura 3. Coeficiente de correlação de Pearson (r) de parâmetros ópticos (SPAD, Chl, Flav, Anth, NBI SAPD e NBI Dualex) e parâmetros de folha medidos destrutivamente (Teores de N) em 5 áreas diferentes: área 1 (A), área 2 (B), área 3 (C), área 4 (D) e área 5 (E) no estádio V6 para cultura do milho.

5.3.2 Correlação entre as variáveis dos sensores portáteis Dualex e SPAD com teores de N obtidos no estádio V9.

Foram investigadas correlações entre os teores de N obtidos de forma destrutiva e os valores obtidos através de sensores portáteis conforme observado na figura 4. A correlação dos sensores portáteis com os teores de N extraídos na cultura do milho no estádio V9 foi significativa, sendo o SPAD e Chl (dualex) e NBI-dualex e NBI-SPAD os que apresentaram os melhores ajustes positivamente. As correlações mais fortes positivamente ocorreram na área 1 classificada como alta, nas áreas 2 e 3 moderadas e 4 e 5 baixas Figura 4. Já as correlações negativas em todas as áreas foram observadas para as variáveis flavonoides e antocianinas.

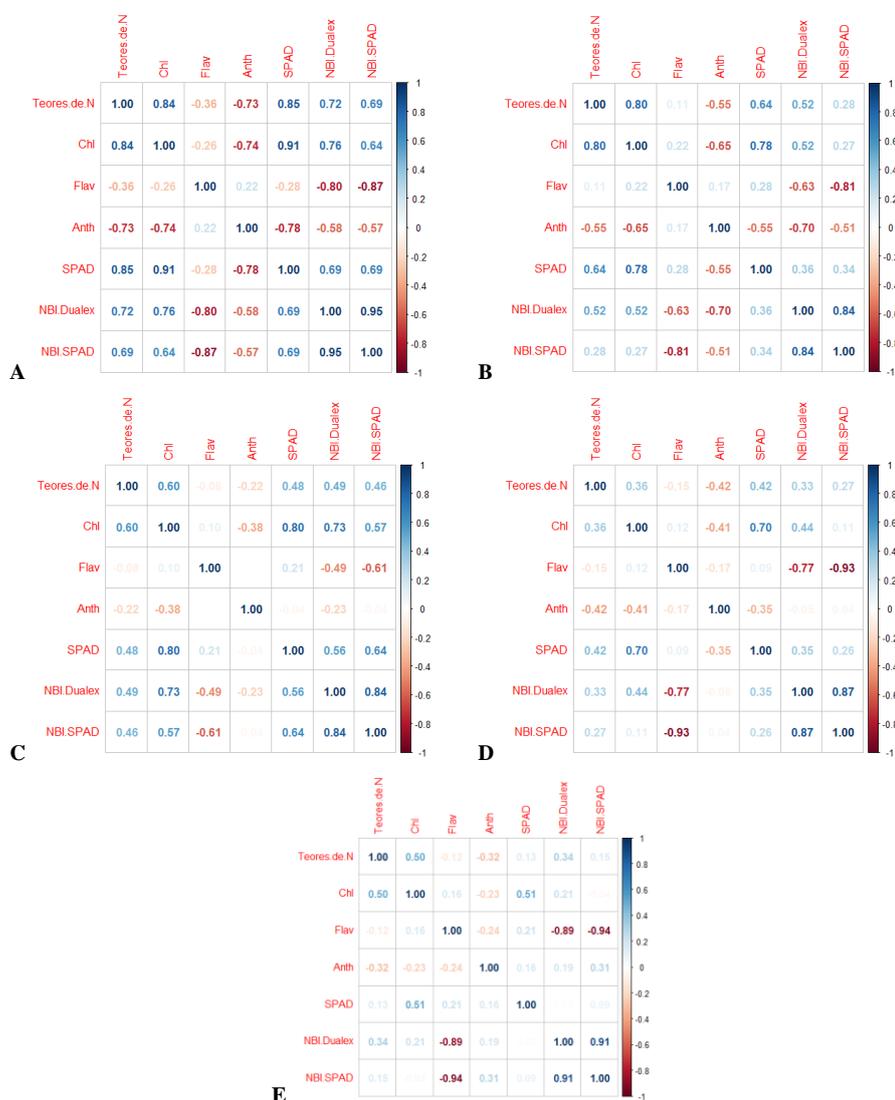


Figura 4. Coeficiente de correlação de Pearson (r) de parâmetros ópticos (SPAD, Chl, Flav, Anth, NBI SAPD e NBI Dualex) e parâmetros de folha medidos destrutivamente

(Teores de N) em 5 áreas diferentes: área 1 (A), área 2 (B), área 3 (C), área 4 (D) e área 5 (E) no estádio V9 para cultura do milho.

5.4. DISCUSSÃO

Ocorreu ajuste linear crescente entre as doses e os teores de N (Figuras 2), e observou que entre o estádio V6 e o estádio V9 apenas duas áreas aumentaram os coeficientes de correlação, sendo maior que 10%, sendo o fator comum nessas duas áreas a sucessão de milho. Desta forma, não tinha o nitrogênio residual proveniente da fixação biológica da soja, e, sabe-se que pode ser de até 30 kg ha⁻¹ de N (Gallo et al., 1981; Hungria, Campo & Mendes, 2007). Além disso, quando relacionada à dose de N no milho é conhecido também que o sensor Dualex em comparação com ao sensor SPAD e a proporção de clorofila (Chl) para flavonoide é mais estável e superior, respectivamente (Dong et al., 2021). No presente estudo, os sensores portáteis apresentaram comportamento de correlação positiva alta, e as leituras da Chl teve correlações entre moderada e muito alta com os valores de leitura de SPAD, essa correlação ficou entre 74-94% para estádio V6 (Figura 3) e 51-91% para estádio V9 (Figura 4).

Nestes estudos os índices Flav e Anth a correlação foi de efeito negativo. A relação inversa dos valores de clorofila com os de flavonoides já foi relatada na literatura (Tremblay, Wang & Cerovic, 2012; Gabriel et al., 2017). Sabe-se que os flavonóis, uma classe de polifenóis, são metabólitos secundários à base de carbono cujo conteúdo aumenta com a menor disponibilidade de N e que geralmente está inversamente relacionado ao conteúdo de clorofila (Padilla et al., 2014), conforme evidenciado neste estudo. A correlação do flavonoide com os teores de N absorvidos pelas folhas tem correlação negativa de moderada com tendência para alta (Figura 3 e 4). Essa correlação tende a diminuir possivelmente pela maior diluição da quantidade de N presente na folha ou a flutuação do conteúdo de tecido vegetal (Tremblay et al., 2012; Padilla et al., 2014). Um indicador sensível do status de N da cultura, por causa da relação oposta que o flavonoide tem em relação a quantidade de N presente na planta, é o NBI, que é a razão entre os índices de clorofila pelo índice de flavonoide (Cartelat et al., 2005; Tremblay et al., 2012).

Sendo assim, para amenizar os efeitos flutuantes no tecido vegetal a utilização do NBI através das avaliações do Dualex e SPAD, apresentaram correlações altas em ambas áreas e estádios (Figura 3 e 4, respectivamente). O NBI é um dos índices que melhor se

correlacionou com os teores de N observados para cultura do milho, juntamente com a clorofila tanto para o SPAD quanto para o Dualex. Entre os dois sensores, o Dualex permitiu melhor ajuste, pois além de estimar clorofila consegue estimar flavonoide, antocianina e, também o NBI, visto que a utilização de mais parâmetros tende a ser uma medida mais confiável (Cartelat et al., 2005). A utilização de outros fatores como flavonoides pode ajudar a estimar a quantidade de N presente na planta, visto que em altas doses de N pode ocorrer a saturação dos valores de clorofila (Tremblay et al., 2011; Cerovic et al., 2015). Diferente de clorofila, o flavonoide epidérmico estimado por Dualex, que é o representante do flavonoide total da folha, é considerado um substituto da massa foliar seca por área sem unidades (Cerovic et al., 2015). À medida que o milho cresce, a área foliar e o fechamento da copa das folhas superiores aumentam gradualmente, resultando em maior grau de sombreamento e isso pode limitar a expressão dos genes sintéticos flavonoides e levar a redução no conteúdo de flavonoides nessas folhas durante os estágios posteriores de crescimento (Dong et al., 2020).

Estratégias de manejo de precisão de N com o objetivo de aplicar a quantidade ideal de fertilizante N no momento e local certos podem ajudar a aumentar a produtividade da cultura e a eficiência do uso de N, bem como reduzir o excesso de N e os impactos ambientais. Visto isso, a utilização desses sensores auxilia na tomada de decisões durante toda a safra, aumentando a receita econômica, pois é possível verificar deficiências nutricionais com o uso dessas ferramentas.

5.5. CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos é possível concluir que os índices obtidos pelos sensores portáteis de clip Dualex e SPAD podem ser utilizados para avaliar o estado nutricional nitrogenado do milho nos estados de desenvolvimento do milho V6 e V9, possuindo alta correlação com os teores de N real da folha de milho. Além disso, como o sensor Dualex avalia os flavonoides e o índice de equilíbrio de nitrogênio (NBI), quando comparado a correlação do NBI-Dualex e o NBI-SPAD tiveram valores médios de correlação de 0,92 em V6 e 0,88 em V9 demonstrando que a utilização do Dualex para a avaliação do estado nutricional nitrogenado da planta é tão eficiente quando o sensor SPAD.

5.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baresel, J. P., Rischbeck, P., Hu, Y., Kipp, S., Bartheimer, G., Mistele, B., & Schmidhalter, U. (2017). Use of a digital camera as alternative method for non-

destructive detection of the leaf chlorophyll content and the nitrogen nutrition status in wheat. *Computers and Electronics in Agriculture*, 140, 25-33.

Buba, T., & Muhammad, S. Y. (2020). Combine Effects of Soil Nutrient Levels and Mycorrhiza Inoculums from Soils under *Parkia Biglobosa* and *Tamarindus Indica* on Chlorophyll Content of Some Cereal and Legume Crops. *Scientific African*, 8, e00369.

Cartelat, A., Cerovic, Z. G., Goulas, Y., Meyer, S., Lelarge, C., Prioul, J. L., ... & Moya, I. (2005). Optically assessed contents of leaf polyphenolics and chlorophyll as indicators of nitrogen deficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field crops research*, 91(1), 35-49.

Cerovic, Z. G., Ghazlen, N. B., Milhade, C., Obert, M., Debuissou, S., & Moigne, M. L. (2015). Nondestructive diagnostic test for nitrogen nutrition of grapevine (*Vitis vinifera* L.) based on dual-ex leaf-clip measurements in the field. *Journal of agricultural and food chemistry*, 63(14), 3669-3680.

Chen, Z., Miao, Y., Lu, J., Zhou, L., Li, Y., Zhang, H., ... & Liu, C. (2019). In-season diagnosis of winter wheat nitrogen status in smallholder farmer fields across a village using unmanned aerial vehicle-based remote sensing. *Agronomy*, 9(10), 619.

Dhital, S., & Raun, W. R. (2016). Variability in optimum nitrogen rates for maize. *Agronomy Journal*, 108(6), 2165-2173.

Dong, R., Miao, Y., Wang, X., Chen, Z., & Yuan, F. (2021). Improving maize nitrogen nutrition index prediction using leaf fluorescence sensor combined with environmental and management variables. *Field Crops Research*, 269, 108180.

Dong, R., Miao, Y., Wang, X., Chen, Z., Yuan, F., Zhang, W., & Li, H. (2020). Estimating plant nitrogen concentration of maize using a leaf fluorescence sensor across growth stages. *Remote Sensing*, 12(7), 1139.

Espírito Santo, H., & Daniel, F. (2017). Calculating and reporting effect sizes on scientific papers (2): Guide to report the strength of relationships. *Portuguese Journal of Behavioral and Social Research*, 3(1), 53-64.

Gabriel, J. L., Zarco-Tejada, P. J., López-Herrera, P. J., Pérez-Martín, E., Alonso-Ayuso, M., & Quemada, M. (2017). Airborne and ground level sensors for monitoring nitrogen status in a maize crop. *Biosystems Engineering*, 160, 124-133.

Gallo, P. B., & PB, G. (1981). Efeito de cultivos anteriores de soja na produção e no teor de nitrogênio das folhas e dos grãos de milho.

Goes, R. J., Rodrigues, R. A. F., Takasu, A. T., & Arf, O. (2014). Fontes e doses de nitrogênio em cobertura para a cultura do milho em espaçamento reduzido. *Agrarian*, 7(24), 257-263.

Hinkle, D. E., Wiersma, W., & Jurs, S. G. (2003). *Applied statistics for the behavioral sciences* (Vol. 663). Houghton Mifflin College Division.

Hungria, M., Campo, R. J., & Mendes, I. C. (2007). A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. *Embrapa Soja-Documentos (INFOTECA-E)*.

Lee, Y., Kweon, H. J., Park, M. Y., & Lee, D. (2019). Field assessment of macronutrients and nitrogen in apple leaves using a chlorophyll meter. *HortTechnology*, 29(3), 300-307.

Li, J., Feng, Y., Wang, X., Peng, J., Yang, D., Xu, G., ... & Su, W. (2020). Stability and applicability of the leaf value model for variable nitrogen application based on SPAD value in rice. *PloS one*, 15(6), e0233735.

Liu, Y., Wang, J., Yao, X., Shi, X., & Zeng, Y. (2021). Diversity analysis of chlorophyll, flavonoid, anthocyanin, and nitrogen balance index of tea based on Dualex. *Phyton*, 90(5), 1549.

Mendoza-Tafolla, R. O., Juarez-Lopez, P., Ontiveros-Capurata, R. E., Sandoval-Villa, M., Iran, A. T., & Alejo-Santiago, G. (2019). Estimating nitrogen and chlorophyll status of romaine lettuce using SPAD and at LEAF readings. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(3), 751-756.

Padilla, F. M., Peña-Fleitas, M. T., Gallardo, M., & Thompson, R. B. (2014). Evaluation of optical sensor measurements of canopy reflectance and of leaf flavonols and chlorophyll contents to assess crop nitrogen status of muskmelon. *European journal of agronomy*, 58, 39-52.

Piekielek, W. P., Fox, R. H., Toth, J. D., & Macneal, K. E. (1995). Use of a chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate nitrogen sufficiency. *Agronomy Journal*, 87(3), 403-408.

R Core Team (2013) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Santana, D. C., Cotrim, M. F., Flores, M. S., Baio, F. H. R., Shiratsuchi, L. S., da Silva Junior, C. A., ... & Teodoro, P. E. (2021). UAV-based multispectral sensor to measure variations in corn as a function of nitrogen topdressing. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 23, 100534.

Shah, S. H., Houborg, R., & McCabe, M. F. (2017). Response of chlorophyll, carotenoid and SPAD-502 measurement to salinity and nutrient stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agronomy*, 7(3), 61.

SILVA, F. C. D. S. (Ed.). (2009). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes* (Vol. 627). Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos.

Szulc, P., Bocianowski, J., Nowosad, K., Zielewicz, W., & Kobus-Cisowska, J. (2021). SPAD Leaf Greenness Index: Green Mass Yield Indicator of Maize (*Zea mays* L.), Genetic and Agriculture Practice Relationship. *Plants*, 10(5), 830.

Thenkabail, P. D. P. S. (Ed.). (2019). *Land resources monitoring, modeling, and mapping with remote sensing*. CRC Press.

Tremblay, N., Fallon, E., & Ziadi, N. (2011). Sensing of crop nitrogen status: Opportunities, tools, limitations, and supporting information requirements. *HortTechnology*, 21(3), 274-281.

Tremblay, N., Wang, Z., & Cerovic, Z. G. (2012). Sensing crop nitrogen status with fluorescence indicators. A review. *Agronomy for sustainable development*, 32(2), 451-464.

Vesali, F., Omid, M., Kaleita, A., & Mobli, H. (2015). Development of an android app to estimate chlorophyll content of corn leaves based on contact imaging. *Computers and Electronics in Agriculture*, 116, 211-220.

Yadav, S. P., Ibaraki, Y., & Gupta, S. D. (2010). Estimation of the chlorophyll content of micropropagated potato plants using RGB based image analysis. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 100(2), 183-188.

Yue, X., Hu, Y., Zhang, H., & Schmidhalter, U. (2020). Evaluation of both SPAD reading and SPAD index on estimating the plant nitrogen status of winter wheat. *International Journal of Plant Production*, 14(1), 67-75.

Putra, B. T. W., Wirayuda, H. C., Syahputra, W. N. H., & Prastowo, E. (2021). Evaluating in-situ maize chlorophyll content using an external optical sensing system coupled with conventional statistics and deep neural networks. *Measurement*, 110482.

Putra, B. T. W., & Soni, P. (2020). Improving nitrogen assessment with an RGB camera across uncertain natural light from above-canopy measurements. *Precision Agriculture*, 21(1), 147-159.

6. CAPÍTULO II

(Normas de acordo com a revista Remote Sensing)

Adaptação de método para estimativa de clorofila em milho utilizando sensor RGB embarcado em VANT

RESUMO: O uso de nitrogênio na cultura do milho é um fator chave quando se busca altas produtividades e uma das alternativas para auxiliar nesse manejo seria utilização de VANT para identificar a zonas de manejo e desta forma, direcionar as aplicações de nitrogênio. O objetivo do estudo foi fornecer um procedimento técnico para se determinar as melhores bandas espectrais de sensor RGB para a avaliação do estado nutricional nitrogenado e se o tamanho da área de interesse pode alterar a avaliação. Os estudos foram desenvolvidos em condições de campo no sudoeste goiano, onde utilizaram 5 doses de nitrogênio (0, 75, 150, 225 e 300 kg de N) em cobertura a fim de criar diferentes gradientes de clorofila nas plantas de milho e verificar se é possível diferenciar esses gradientes de clorofila com bandas do sensor RGB no estágio de desenvolvimento do milho V6. Para avaliar a resposta espectral por meio das bandas RGB em diferir o teor de clorofila na folha e se o tamanho da área de interesse interfere (área total de 15 m²) nessa quantificação. Foi utilizado a regressão linear simples e o critério de conformação de Akaike (AIC) para cada uma das três áreas para estimar a quantidade de clorofila presente na cultura, utilizando como referência o índice SPAD. O estudo mostrou que a utilização de sensores de baixos custos (RGB) acoplados em drones podem fornecer uma avaliação confiável de parcelas experimentais de clorofila na cultura do milho.

PALAVRAS-CHAVE: *Zea mays*, nitrogênio, sensor de baixo custo, SPAD

ADAPTATION OF A METHOD FOR ESTIMATING CHLOROPHYLL IN CORN USING A RGB SENSOR EMBEDDED IN UAV

ABSTRACT: The use of nitrogen in the corn crop is a key factor when looking for high yields and one of the alternatives to assist in this management would be the use of UAV to identify management zones and thus direct nitrogen applications. The aim of this study is to provide a technical procedure to determine the best spectral bands of the RGB sensor and whether the area size of interest can interfere with the quantification of chlorophyll in corn. The studies were carried out under field conditions in Southwest Goiás, where it was used 5 doses of nitrogen (0, 75, 150, 225 and 300 kg of N) in topdressing to create different chlorophyll gradients in corn plants and thus verify whether it is possible to differentiate these chlorophyll gradients with RGB sensor bands at the stage V6. To assess the spectral response through the RGB bands in differing the chlorophyll content in the leaf and whether the area size of interest interferes (total area of 15 m²) in this quantification. Simple linear regression and the Akaike conformation criterion (AIC) were used for each of the 3 areas to estimate the amount of chlorophyll present in the crop, using the SPAD index as a reference. The study showed that the use of low-cost sensors (RGB) coupled to drones can provide an assessment reliability of experimental plots of chlorophyll in corn crop.

KEYWORDS: *Zea mays*, nitrogen, low-cost sensor, SPAD

6.1. INTRODUÇÃO

Na cultura do milho (*Zea mays*), a adubação nitrogenada é importante para obter altas produtividades, principalmente sob condições de solos tropicais que, em geral, não são capazes de fornecer a quantidade suficientes de nitrogênio (N) para atender a exigência nutricional da cultura (Dhital & Raun, 2016). Para suprir essa necessidade, normalmente os produtores fornecem N via adubação de cobertura até o estágio vegetativo V6, embora existam sugestões de manejos distintos em termos de doses, fontes e épocas de aplicação (Binder et al., 2000). Diante disso, conhecer o status de N em lavouras de milho pode ser então uma ferramenta valiosa de manejo, sendo o teor de clorofila (Chl) um importante indicador.

A clorofila é o principal pigmento encontrado em folhas, responsável pela cor verde, essencial para o processo de fotossíntese e está associada ao estado de N nas plantas (Yadav et al., 2010). A concentração de Chl podem afetar as propriedades de refletância da folha e estão altamente correlacionadas com o status de N (Dong et al., 2020). Os cloroplastos servem como unidade de armazenamento de nitrogênio, com mais de 70% do nitrogênio da planta sendo armazenado nessas organelas (Han et al., 2016). Como a clorofila é um composto contendo nitrogênio sintetizado nos cloroplastos, a deficiência da forma primária de nitrogênio absorvido e utilizado pelas plantas afeta diretamente sua síntese (Wen et al., 2019). Sua determinação pode ser realizada de maneira destrutiva, em laboratório. No entanto, tal processo demanda tempo e recursos é de alto custo. Uma alternativa é o uso de sensores em faixas espectrais, capazes de determinar de forma rápida e não destrutiva o status de N em plantas em tempo real. Sendo então ótimas ferramentas para auxiliar no manejo deste nutriente e garantir alta produtividade, redução de custos e proteção do meio ambiente.

Dentre as diversas alternativas disponíveis no mercado, o clorofilômetro portátil modelo SPAD-502 (Minolta Co., Japão) tem sido amplamente utilizado para estimar, de

forma não destrutiva, o status de N em diversas espécies de plantas, tais como milho, trigo e alface (Shah et al., 2017; Vesali et al., 2017; Mendoza-Tafolla, 2019). A partir de ensaios de calibração, os valores de leitura do índice SPAD podem ser considerados como valores de referência para os teores de clorofila nas folhas visto a ótimas correlações que há entre eles (Uddling & Piikki, 2007; Borhan et al., 2017a). Embora fáceis de manusear e eficientes, o uso de sensores portáteis e de pinça, tais como o SPAD-502, está limitado a pequenas áreas. Isso é decorrente da sua operação ser manual e realizada em uma planta de cada vez, de modo que para se obter um valor médio da lavoura são necessárias várias leituras, que demandam muito tempo.

Uma alternativa viável é uso de imagens aéreas obtidas por satélite, avião ou drones sendo uma ferramenta promissora para monitorar pigmentos e estimar o status de N em plantas em tempo real (Piekielek et al., 1995; Tremblay et al., 2007; Silva et al., 2009; Gabriel et al., 2017). A grande vantagem de tais ferramentas é a escalabilidade, pois são montados em diferentes plataformas, e por isso, podem possibilitar a observação da variabilidade espacial do dossel das culturas de forma rápida (Fox & Walthall, 2008; Gabriel et al., 2017). Essa característica de cobrir grandes áreas é uma vantagem, porém, as características heterogêneas presentes nas imagens obtidas têm representado um problema. As imagens podem possuir efeitos de solo e sombra, ou até mesmo diferenças em função da própria cultura como estágio de desenvolvimento e cultivares (Gabriel et al., 2017).

Outro ponto importante é o tamanho do grid, pois acarretará a qualidade do sensoriamento, visto que o uso de recortes muito pequenos causa imprecisões (Noh & Zhang, 2012; Zheng et al., 2020). Na literatura pode ser observado trabalhos que utilizaram 100% da área de interesse (AI) para avaliar o teor de clorofila a partir do índice SPAD em folhas de arroz, segundo Saberioon et al., (2014). O uso de 47% da AI foi eficiente para verificar a infestação por *Spodoptera frugiperda* no milho (Resende et al., 2010). Para a avaliação do estado nutricional do N no milho, o uso de 25% da AI foi suficiente (Gabriel et al., 2017), e para estimar a produtividade e avaliar efeito de doses de N do milho foi eficiente o uso de 11,5% de AI (Zhang et al., 2020). A determinação do tamanho da unidade amostral a ser analisada ocorre em função da experiência pessoal de cada pesquisador, de forma que se faz importante entender se esse tamanho da amostra pode influenciar a estimativa da clorofila na cultura do milho.

A utilização de imagens de drones para detecção de conteúdo de clorofila já foram relatadas na cultura do amendoim com câmeras multiespectrais com coeficientes de

correlação de 89% em relação ao índice SPAD (Qi et al., 2021). Na cultura do girassol, os índices obtidos com câmeras multiespectrais, obtiveram alta correlação com os teores de N foliar (Vega et al., 2015). As câmeras com filtros multiespectrais são de custo mais elevado, e o uso de índices obtidos com câmeras RGB, que são de custo mais baixo, podem ser usados para avaliação do estado nutricional nitrogenado para manejo da adubação em taxa variável (Zhang et al., 2020). A hipótese do estudo é que em função do baixo custo, os índices obtidos com câmera com filtro RGB podem ser viáveis para a avaliação do estado nutricional nitrogenado na cultura do milho. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar quais bandas (ou combinação delas) de um sensor RGB podem prever a quantidade de clorofila nas folhas da cultura do milho em estágio V6, bem como definir se o tamanho da porção analisada da parcela, definida como área de interesse, interfere na avaliação.

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

6.2.1 Áreas experimentais, tratamentos e implantação dos ensaios

O estudo foi desenvolvido em condições de campo, em áreas produtoras de grãos do sudoeste goiano, na safra 2019 conforme observado na figura 1. Antes da implantação de cada área, o solo foi amostrado para fins de caracterização química e textural (Tabela 1).

Em cada uma das áreas foram conduzidos ensaios de manejo de N em milho, com cinco tratamentos e oito repetições. Os tratamentos constaram de doses de N (0, 75, 150, 225 e 300 kg de N) aplicadas em cobertura, quando a cultura estava no estágio V3, e com a finalidade de induzir a formação de gradientes de concentração de clorofila na cultura.

A semeadura do milho, cv. DKB390 foi mecânica, com espaçamento entrelinhas de 0,5 m e densidade de semeadura de 60.000 sementes ha⁻¹. Todas as parcelas experimentais totalizavam área total de 15 m². Os demais tratamentos culturais, incluindo adubação com outros nutrientes conforme necessidade e recomendação para a cultura (Souza & Lobato, 2004).

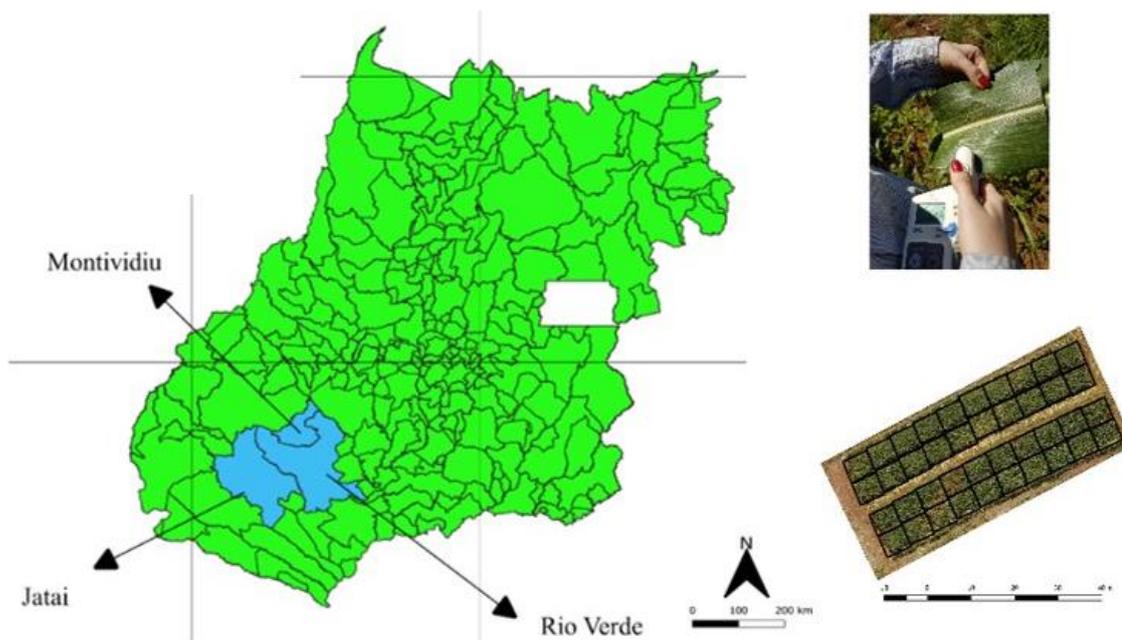


Figura 1: Localização geográfica dos municípios em que o estudo foi realizado.

Tabela 1. Caracterização química e textural do solo (camada 00-20 cm) das áreas em que o estudo foi conduzido.

	pH	P	S-SO ₄ ⁻²	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	M.O.	C.O.	SB
	CaCl ₂	-- mg dm ⁻³ --			----- cmol _c dm ⁻³ -----				-- g dm ⁻³ --		cmol _c
Área 1	4,9	38	-	0,21	2,16	0,99	2,6	2,2	45	-	3,35
Área 2	5,35	7,92	3,7	0,22	2,16	0,58	0,02	1,63	40,4	23,4	2,97
Área 3	5,75	5,32	5,85	0,31	1,98	0,80	0,02	1,06	29,4	17,05	3,1
Área 4	5,45	2,26	8,85	0,11	0,99	0,59	0,03	1,06	28,2	16,35	1,69

	Areia	Silte	Argila	Classificação textural	Municípios
	----- % -----				
Área 1	52	7,5	40,5	Argilosa	Rio Verde
Área 2	42	14,5	43,5	Argilosa	Jatai
Área 3	46	12	42	Argilosa	Montividiu
Área 4	63,5	12	24,5	Franco Argilo Arenoso	Montividiu

6.2.2 Mensuração do teor de clorofila e obtenção das imagens aéreas

As leituras do índice SPAD, bem como as imagens aéreas, foram obtidas quando os ensaios estavam no estádio V6. As avaliações foram realizadas sempre no intervalo das 8h30 às 11h. A mensuração do índice SPAD foi realizada no terço médio na folha que define o estádio vegetativo V6, utilizando o clorofilômetro portátil SPAD-502.

Foram feitas duas leituras por planta (uma em cada lado da nervura central da folha), num total de seis leituras por parcela nas áreas descritas anteriores.

As imagens espectrais (Red (R), Green (G) e Blue (B)) foram obtidas a partir de uma câmera RGB modelo 20 MP CMOS (DJI, Shenzhen, China), embarcada em um drone quadricoptero modelo Phantom 4 Advanced (DJI, Shenzhen, China), sobrevoando a altura de 30 m (de modo a obter pixels de 1,3 cm), com sobreposição frontal e lateral de 80%. As imagens foram processadas a fim de gerar o ortomosaico utilizando o software Pix4D versão 3.2.23 (PIXD4, Lausanne, Suíça).

6.2.3 Determinação da área de interesse (AI) para estimar clorofila a partir das imagens aéreas

Para a determinação de qual o melhor tamanho do AI, comparou-se a análise a partir de diferentes porções da parcela. Analisaram-se as seguintes porções de cobertura: 100% (que representa toda a parcela, considerando a bordadura do experimento, A), 36% (que desconsiderava 1m das extremidades e 0,6 m das laterais, B) e 4% (que desconsiderava 2m das extremidades e 1,2 m das laterais C), conforme observada na figura 2.

O processamento das imagens foi realizado com auxílio do programa QGIS 3.10.1. O QGIS é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de Código Aberto licenciado segundo a Licença Pública Geral GNU. No QGIS utilizou-se a ferramenta *shapefile* para determinar o tamanho de cada uma dessas porções, de modo que a extração dos valores médios de cada uma das bandas RGB foi feita através da estatística por zonas e depois utilizado uma máscara vetorial (*r.to.vect*) supervisionada, em que foi possível separar solo e palhada da cultura analisada.

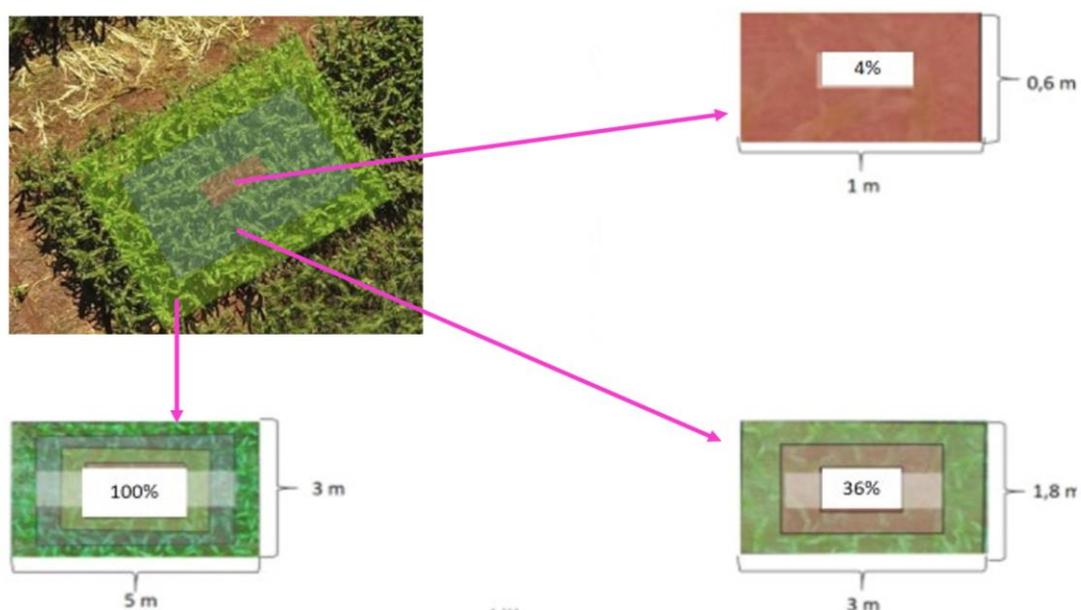


Figura 2. Tamanho das unidades amostrais 100% (A, 15m²); 36% (B, 5,4m²) e 4% (C, 0,6m²) de cada parcela utilizadas na estimativa do teor de clorofila em plantas de milho a partir de imagens aéreas RGB.

6.2.4 Análise estatística dos dados

Foi realizado o teste F a 5% de significância para as variáveis analisadas e quando o teste apresentou significância a regressão linear simples foi aplicada. Para tal análise, foi utilizado o programa estatístico RStudio R v.4.0.3 (R Core Team, 2013), utilizou-se a variável SPAD como dependente e as doses de N como variável independente.

Na sequência, utilizou-se o Critério de Informação de Akaike (AIC) (Akaike, 1974) para classificar a eficácia das áreas de interesse em prever o teor de clorofila – dado pelo índice SPAD – dentro de cada uma das três bandas espectrais e para cada uma das áreas em que comprovadamente houve a formação do gradiente de clorofila. O AIC foi calculado usando a função genérica 'AIC' (Bunn; Korpela, 2016), que calcula o estimador de $AIC = 2\kappa - 2 \ln(\hat{L})$, sendo κ é o número de parâmetros estimados no modelo, e \hat{L} é o valor máximo da função de verossimilhança para o modelo. Dentre os valores de AIC, aquele com o menor valor é considerado o melhor a ser utilizado; e aqueles que diferem por duas, ou menos unidades de AIC, são considerados semelhantes (Burnham; Anderson, 2013). Essa análise foi realizada utilizando o programa estatístico RStudio R v.4.0.3 (R Core Team, 2013), e as figuras para apresentação dos dados foram criadas no software SigmaPlot 10.

Para determinação da banda (ou combinação de bandas) que melhor pode estimar o índice SPAD, utilizou-se a análise de regressão linear múltipla stepwise, do tipo forward. Ela se inicia com um modelo de regressão linear simples tendo como variável auxiliar os índices de (SPAD), a variável resposta (Número digital das bandas espectrais Red, Green e Blue). Os pacotes utilizados no RStudio foram readxl; ggplot2; lattice; car; tidyverse; corrplot e Hmisc.

6.3. RESULTADOS

6.3.1 Efeito da adubação nitrogenada no índice SPAD

Os ensaios conduzidos nos 3 diferentes municípios, conforme ilustrado nas figuras 3, apresentaram modelo de regressão linear para prever as doses de N com base nas leituras do medidor de clorofila, e é identificada diferenças significativas pela probabilidade de significância (P-valor) $<0,00001$, $<0,00006$ e $<0,00004$ respectivamente.

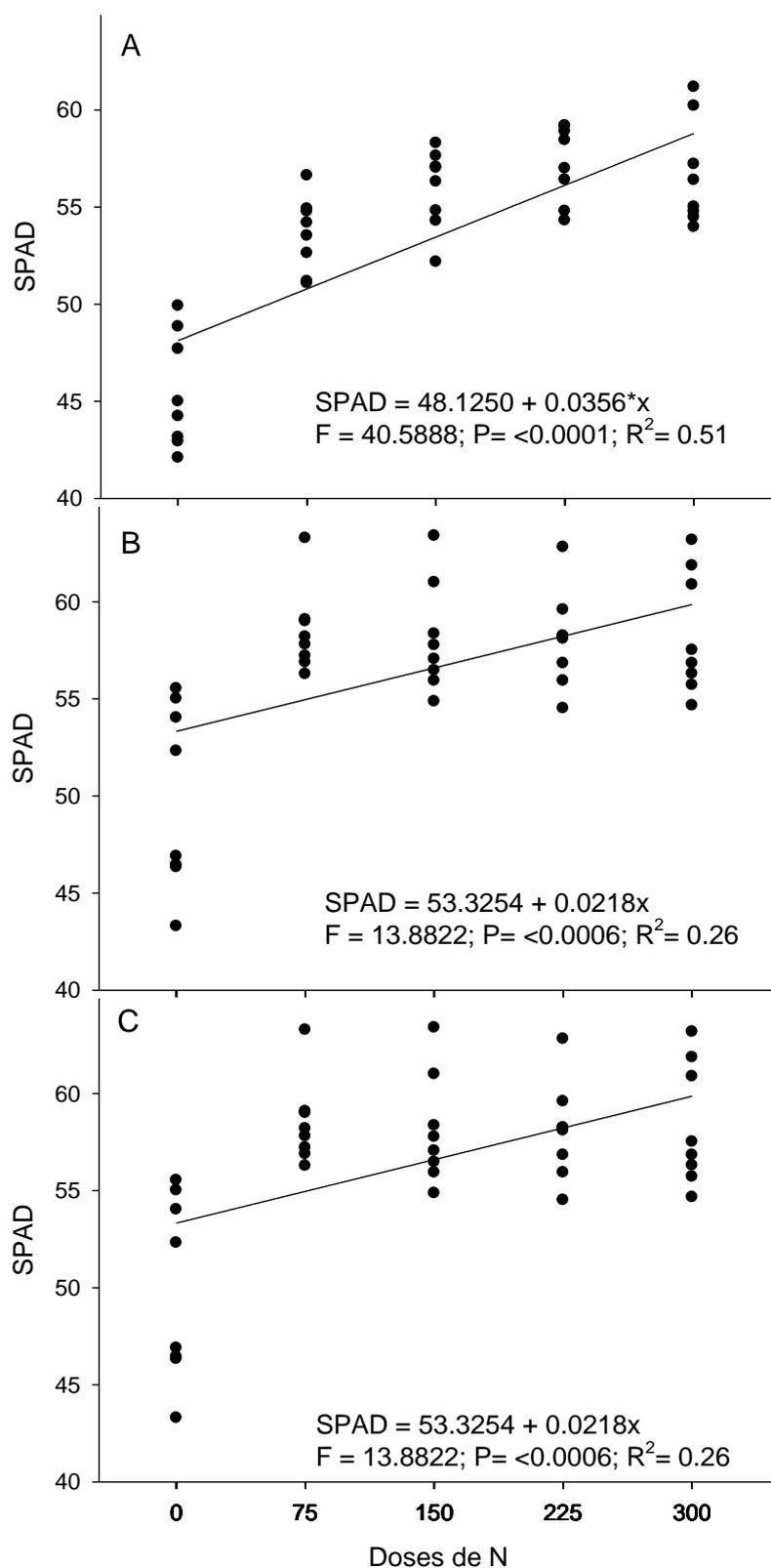


Figura 3. Efeito da adubação nitrogenada (doses de N) no índice SPAD de plantas de milho (em estágio V6) em ensaios conduzidos nos 3 diferentes municípios (A – Rio verde, B – Jatai e C – Montividiu) da região sudoeste do Estado de Goiás, Brasil.

6.3.2 Efeito da área de interesse (AI) e a relação entre bandas espectrais Red, Green e Blue e o índice SPAD município de Rio Verde, avaliadas através do parâmetro AIC.

O efeito da banda Red forneceu os melhores resultados com o AI de 100%, visto que apresentou os menores valores de AIC, chegando a uma diferença de 17,55 AIC entre o AI 100% e o de 4% na banda Red conforme observado na figura 4 A, B e C. A regressão linear com valores calculados de AIC, teve os menores valores sendo 233,54 utilizando 100% e maiores 251,31 para 4% na banda Red. Já para banda Green menores valores de 240,40 para 100% e maiores 251,75 para 4% do AI, mesmo padrão para banda blue que teve menores valores 247,88 para 100% e 251,97 para 4% (Figura 4).

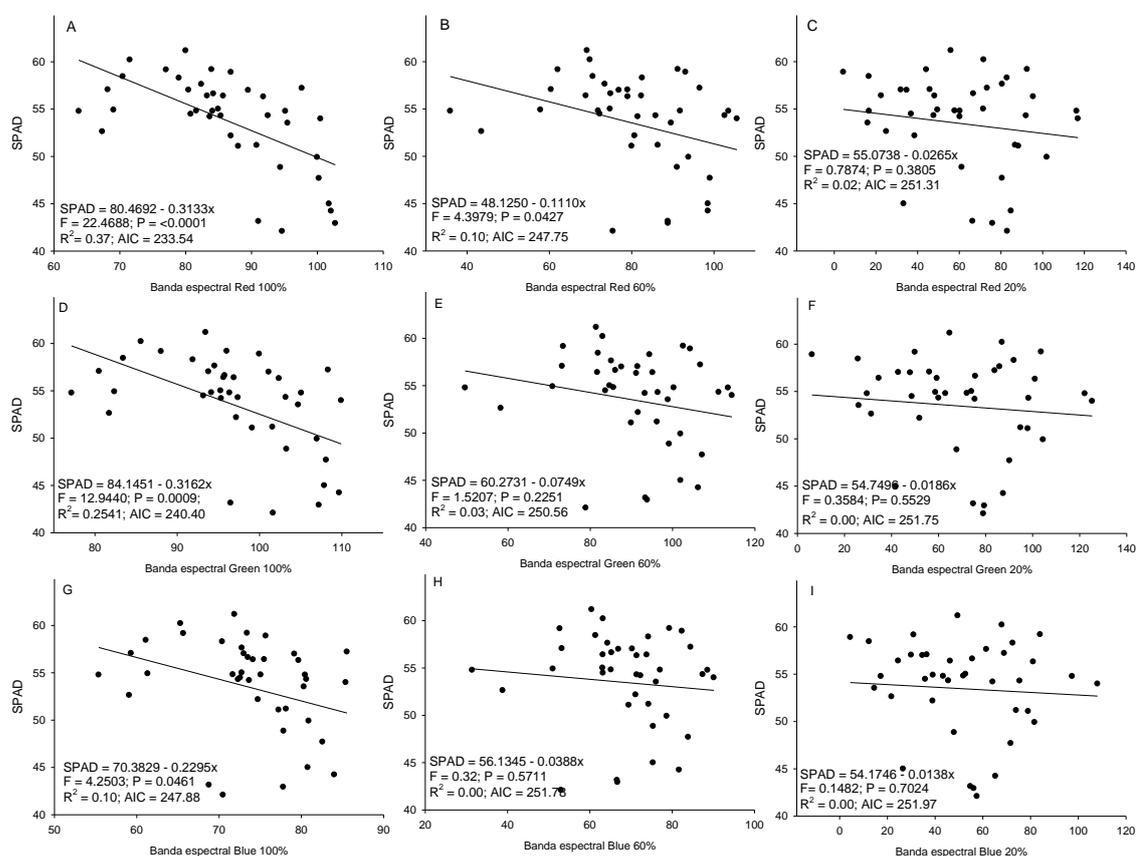


Figura 4. Valores do Critério de Informação (AIC) da relação entre índice SPAD em plantas de milho (estádio V6) e o número digital de bandas espectrais Red (A, B e C), Green (D, E e F) e Blue (G, H e I) obtidos em áreas de interesse de 100 (A, D e G), 36 (B, E e H) e 4% (C, F e I) das parcelas para o município de Rio Verde.

6.3.3 Efeito da área de interesse (AI) na relação entre bandas espectrais Red, Green e Blue e o índice SPAD no município de Jatai, avaliadas através do parâmetro AIC.

A regressão linear com valores calculados de AIC, teve os menores valores sendo 215,30 utilizando 100% e maiores 239,21 para 4% na banda Red. Já para banda Green menores valores foram de 222,14 para 100% e maiores 239,23 para 4% do AI, mesmo padrão para banda blue que teve menores valores 237,60 para 100% e 239,23 para 4% (Figura 5).

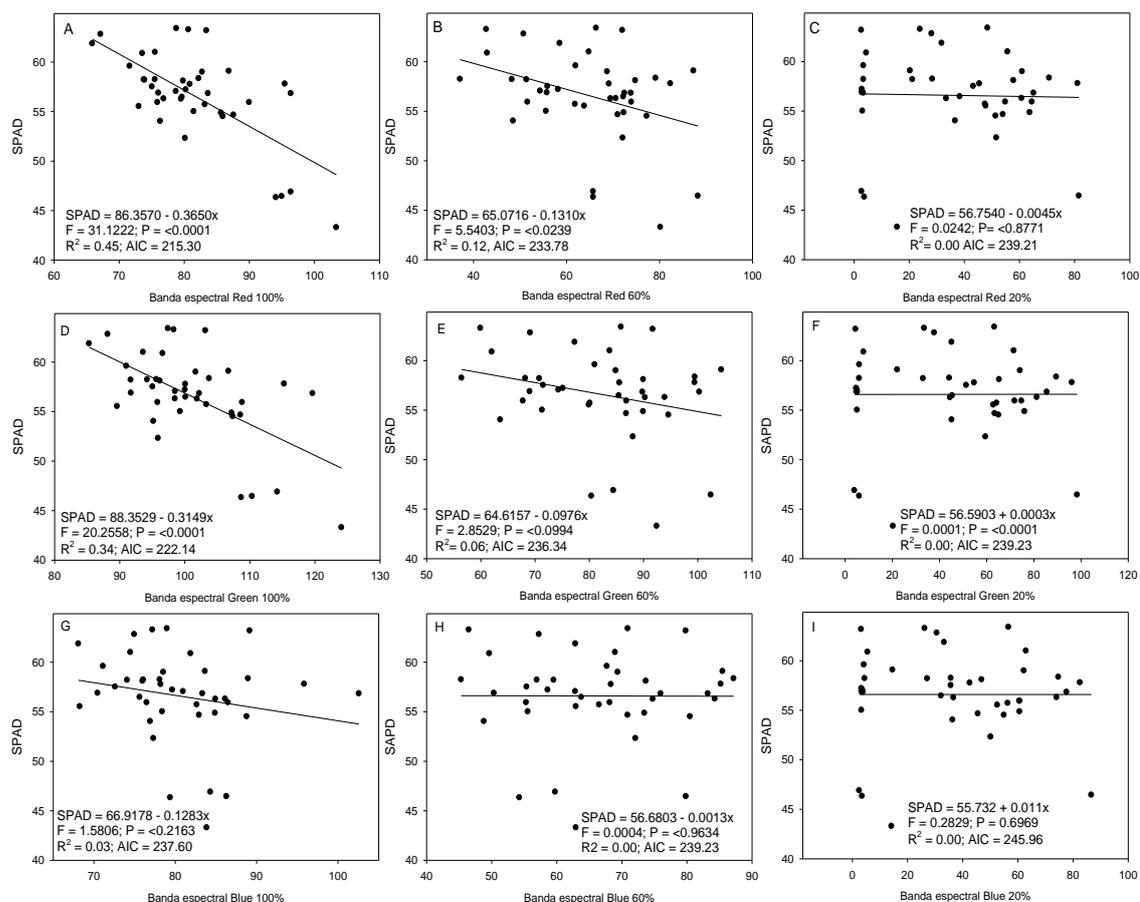


Figura 5. Valores do Critério de Informação (AIC) da relação entre índice SPAD em plantas de milho (estádio V6) e o número digital de bandas espectrais Red (A, B e C), Green (D, E e F) e Blue (G, H e I) obtidos em áreas de interesse de 100 (A, D e G), 36 (B, E e H) e 4% (C, F e I) das parcelas para o município de Jatai.

6.3.4 Efeito da área de interesse (AI) na relação entre bandas espectrais Red, Green e Blue e o índice SPAD no município de Montividiu, avaliadas através do parâmetro AIC.

A regressão linear com valores calculados de AIC, teve os menores valores sendo 232,13 utilizando 100% e maiores 247,01 para 4% na banda Red. Em contrapartida, para a banda Green menores valores foram de 236,48 para 100% e maiores 246,86 para 4% do AI, mesmo padrão para banda blue que teve menores valores 244,35 para 100% e 246,95 para 4% (Figura 6).

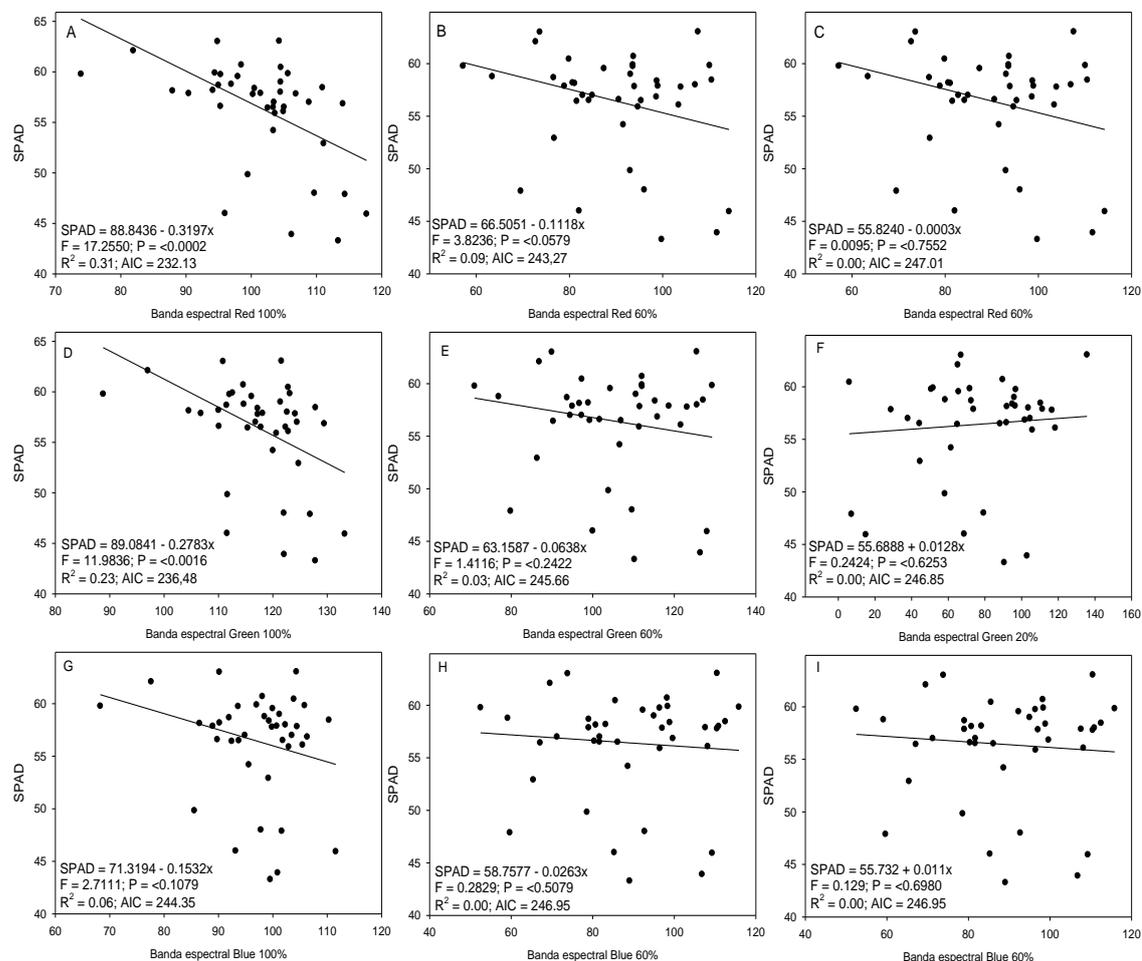


Figura 6. Valores do Critério de Informação (AIC) da relação entre índice SPAD em plantas de milho (estádio V6) e o número digital de bandas espectrais Red (A, B e C), Green (D, E e F) e Blue (G, H e I) obtidos em áreas de interesse de 100 (A, D e G), 36 (B, E e H) e 4% (C, F e I) das parcelas para o município de Montividiu.

6.3.5 Estimativa do teor de clorofila (índice SPAD) a partir das imagens aéreas

Os resultados de AI demonstraram que a utilização de 100% da parcela é a melhor forma de se quantificar a clorofila, desta forma, utilizando os valores dos 3 municípios com 100% da AI e através da análise múltipla *stepwise* e depois análises de regressão linear simples entre clorofila e as bandas espectrais, têm-se o R^2 e o nível de significância

das regressões, permitindo maior precisão média de predição (66%) para clorofila utilizando câmeras RGB.

Tabela 2. Regressão linear simples e seu valor de coeficientes de determinação e nível de significância para variável de clorofila em função das bandas do sensor RGB.

Variável dependente (y)	Variável independente (X)	Equação da regressão	p-valor	R ²
Clorofila	Green+Blue	$y = 68.65 + 0.36x$	2.2e-16	0.66

6.4 DISCUSSÃO

As doses da adubação nitrogenada em cobertura no milho proporcionaram variações nos valores dos índices de clorofila SPAD, neste estudo, sendo de fundamental importância (Figura 3). É conhecido que o índice SPAD para clorofila é utilizado por apresentar correlações acima de 90% com os teores de N nas folhas das plantas (Piekielek et al., 1995; Vesali et al., 2015; Elazab et al., 2016), o que é de alta confiabilidade (Piekielek et al., 1995; Vesali et al., 2015; Borhan et al., 2017b). Diante disso, a avaliação do estado nutricional nitrogenado com o uso de imagens obtidas com câmeras de baixo custo (RGB) pode aumentar a eficiência de uso do N, tanto gerando mapas de interpretação dos teores de N nas plantas, quanto gerando mapas de aplicação do fertilizante nitrogenado em taxa variável, e tudo isso em tempo real.

Após identificado o gradiente de clorofila para as doses de N (Figura 3), foi então avaliado a influência do tamanho da AI para estimar os valores de clorofila na cultura do milho, visto que na literatura essa área de interesse não tem um padrão para estimar o teor de clorofila, conforme observado em estudos com a cultura do arroz que utilizou 100% da AI (Saberioon et al., 2014). Em estudos com milho, o uso de 47% da AI foi eficiente para verificar a infestação por *Spodoptera frugiperda* (Resende et al., 2010). Já para o monitoramento do status de N no milho foi utilizado 25% do AI (Gabriel et al., 2017), logo outros pesquisadores utilizaram 11,5% do AI para monitorar na cultura do milho (Zhang et al., 2020). Desta forma, foi utilizado modelos de regressão com Valores do Critério de Informação (AIC) para definir qual deve ser a área de interesse.

Em ambas as áreas avaliadas o AI de 100% obteve os menores valores de AIC (Figuras 4, 5 e 6). Sabe-se que o critério de AIC é uma medida da qualidade de modelo

estatístico que ao ser usada para comparação entre modelos, sendo, o que apresentar o menor valor de AIC são considerados a melhor AI. Já as AI de 4 e 36% para as bandas Green e Blue não diferiram entre si, decorrente que não houve diferença do AIC em mais de duas unidades (Burnham & Anderson, 2003). Na avaliação de imagens obtidas com a cultura do arroz na fase inicial de desenvolvimento, quanto menor a AI, maior a dificuldade na diferenciação das plantas (Zheng et al, 2020).

Para determinar a quantidade de clorofila presente na cultura do milho utilizando sensores espectrais de baixo custo (RGB), é possível através do modelo de regressão simples representando até 66% da clorofila (Tabela 2). As interações entre as bandas Red, Green e Blue utilizando 100 % da área de interesse com os valores de SPAD para estimar a quantidade de clorofila na cultura do milho, possui forte correlação com as bandas Green e Blue Tabela 2. Para a banda Green foram encontrados para o trigo na China com 5 níveis de fertilizantes nitrogenados testados (Song et al., 2021) e nos EUA com 4 níveis de fertilizantes nitrogenados para o milho (Vesali et al., 2015), resultados que contribuem com a teoria de que o teor de clorofila é geralmente mais sensível sua identificação em refletância nas regiões acima de 550nm (Datt, 1999). Em relação a banda Blue está fisiologicamente envolvida na forte absorção por clorofila e carotenoides da planta, desta forma apresentando boa correlação com a clorofila presente na planta (Guendouz et al., 2012; Zhang et al., 2018). A utilização dessas técnicas auxilia na tomada de decisões durante toda a safra, e são capazes de encontrar variedades produtivas de forma eficiente, auxiliando em programas de melhoramento genético.

6.5 PESQUISAS FUTURAS

Resultados como os obtidos no presente estudo podem ser utilizados, ou mesmo viabilizar recomendações de aplicação de nitrogênio em taxa variável. O desafio está relacionado ao refinamento dos resultados via uso de outros sensores, juntamente com maior número de áreas ou de híbridos de milho para obter resultados precisos, sendo de fundamental estudo.

6.6 CONCLUSÕES

O estudo mostra que a utilização de sensores de baixos custos (RGB) acoplados em drones podem fornecer uma avaliação confiável de parcelas experimentais de clorofila na cultura do milho. Em que a utilização de 100% da área de interesse melhor se adequa

a quantificação de nitrogênio no milho por meio da resposta espectral de sensor acoplado a drones. Além disso, para se utilizar VANT na quantificação de nitrogênio, a equação que melhor estimou ($r= 66\%$) os teores de clorofila foi a seguinte: $\text{Clorofila} = 68,65 + (0,36 * (\text{Green} + \text{Blue}))$.

6.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE transactions on automatic control*, 19(6), 716-723.
- Binder, D. L., Sander, D. H., & Walters, D. T. (2000). Maize response to time of nitrogen application as affected by level of nitrogen deficiency. *Agronomy Journal*, 92(6), 1228-1236.
- Borhan, M. S., Panigrahi, S., Satter, M. A., & Gu, H. (2017a). Evaluation of computer imaging technique for predicting the SPAD readings in potato leaves. *Information processing in agriculture*, 4(4), 275-282.
- Borhan, M. S., Panigrahi, S., Satter, M. A., & Gu, H. (2017b). Evaluation of computer imaging technique for predicting the SPAD readings in potato leaves. *Information processing in agriculture*, 4(4), 275-282.
- Bunn, A., Korpela, M. R (2016). A language and environment for statistical computing. v. 2, p. 1-12.
- Burnham, K. P., Anderson, D. R., & Huyvaert, K. P. (2011). AIC model selection and multimodel inference in behavioral ecology: some background, observations, and comparisons. *Behavioral ecology and sociobiology*, 65(1), 23-35.
- Datt, B. (1999). A new reflectance index for remote sensing of chlorophyll content in higher plants: tests using Eucalyptus leaves. *Journal of Plant Physiology*, 154(1), 30-36.
- Dhital, S., & Raun, W. R. (2016). Variability in optimum nitrogen rates for maize. *Agronomy Journal*, 108(6), 2165-2173.
- Dong, R., Miao, Y., Wang, X., Chen, Z., Yuan, F., Zhang, W., & Li, H. (2020). Estimating plant nitrogen concentration of maize using a leaf fluorescence sensor across growth stages. *Remote Sensing*, 12(7), 1139.
- Elazab, A., Ordóñez, R. A., Savin, R., Slafer, G. A., & Araus, J. L. (2016). Detecting interactive effects of N fertilization and heat stress on maize productivity by remote sensing techniques. *European Journal of Agronomy*, 73, 11-24.

- Fox, R. H., & Walthall, C. L. (2008). Crop monitoring technologies to assess nitrogen status. *Nitrogen in agricultural systems*, 49, 647-674.
- Gabriel, J. L., Zarco-Tejada, P. J., López-Herrera, P. J., Pérez-Martín, E., Alonso-Ayuso, M., & Quemada, M. (2017). Airborne and ground level sensors for monitoring nitrogen status in a maize crop. *Biosystems Engineering*, 160, 124-133.
- Guendouz, A., Guessoum, S., Maamri, K., Benidir, M., & Hafsi, M. (2012). The effect of supplementary irrigation on Reflectance at Red and Blue and its relationships with Grain yield, Chlorophyll content, Senescence parameters and Drought resistance indices in Durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 5(2), 151-159.
- Han, Y. L., Song, H. X., Liao, Q., Yu, Y., Jian, S. F., Lepo, J. E., ... & Zhang, Z. H. (2016). Nitrogen use efficiency is mediated by vacuolar nitrate sequestration capacity in roots of *Brassica napus*. *Plant Physiology*, 170(3), 1684-1698.
- Mendoza-Tafolla, R. O., Juárez-Lopez, P., Ontiveros-Capurata, R. E., Sandoval-Villa, M., Iran, A. T., & Alejo-Santiago, G. (2019). Estimating nitrogen and chlorophyll status of romaine lettuce using SPAD and at LEAF readings. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(3), 751-756.
- Noh, H., & Zhang, Q. (2012). Shadow effect on multi-spectral image for detection of nitrogen deficiency in corn. *Computers and electronics in agriculture*, 83, 52-57.
- Piekielek, W. P., Fox, R. H., Toth, J. D., & Macneal, K. E. (1995). Use of a chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate nitrogen sufficiency. *Agronomy Journal*, 87(3), 403-408.
- Qi, H., Wu, Z., Zhang, L., Li, J., Zhou, J., Jun, Z., & Zhu, B. (2021). Monitoring of peanut leaves chlorophyll content based on drone-based multispectral image feature extraction. *Computers and Electronics in Agriculture*, 187, 106292.
- R Core Team (2013) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Resende, A. V., Borghi, E., Gontijo Neto, M. M., Abreu, S., Dos Santos, F. C., & Coelho, A. (2018). Manejo de nutrientes no cultivo de milho segunda safra na região do cerrado. *Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE)*.
- Sousa, D.M.G., Lobato, E. 2004. Cerrado: Correção do Solo e Adubação. EMBRAPA Cerrados, 416p.
- Saberioon, M. M., Amin, M. S. M., Anuar, A. R., Gholizadeh, A., Wayayok, A., & Khairunniza-Bejo, S. (2014). Assessment of rice leaf chlorophyll content using

- visible bands at different growth stages at both the leaf and canopy scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 32, 35-45.
- Shah, S. H., Houborg, R., & McCabe, M. F. (2017). Response of chlorophyll, carotenoid and SPAD-502 measurement to salinity and nutrient stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agronomy*, 7(3), 61.
- Silva, F. C. D. S. (Ed.). (2009). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes* (Vol. 627). Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos.
- Song, Y., Teng, G., Yuan, Y., Liu, T., & Sun, Z. (2021). Assessment of wheat chlorophyll content by the multiple linear regression of leaf image features. *Information Processing in Agriculture*, 8(2), 232-243.
- Tremblay, N., Wang, Z., & Bélec, C. (2007). Evaluation of the Dualex for the assessment of corn nitrogen status. *Journal of plant nutrition*, 30(9), 1355-1369.
- Uddling, J., Gelang-Alfredsson, J., Piikki, K., & Pleijel, H. (2007). Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. *Photosynthesis research*, 91(1), 37-46.
- Vega, F. A., Ramirez, F. C., Saiz, M. P., & Rosua, F. O. (2015). Multi-temporal imaging using an unmanned aerial vehicle for monitoring a sunflower crop. *Biosystems Engineering*, 132, 19-27.
- Vesali, F., Omid, M., Kaleita, A., & Mobli, H. (2015). Development of an android app to estimate chlorophyll content of corn leaves based on contact imaging. *Computers and Electronics in Agriculture*, 116, 211-220.
- Vesali, F., Omid, M., Mobli, H., & Kaleita, A. (2017). Feasibility of using smart phones to estimate chlorophyll content in corn plants. *Photosynthetica*, 55(4), 603-610.
- Wen, B., Li, C., Fu, X., Li, D., Li, L., Chen, X., Gao, D. (2019). Effects of nitrate deficiency on nitrate assimilation and chlorophyll synthesis of detached apple leaves. *Plant Physiology and Biochemistry*, 142, 363-371.
- Yadav, S. P., Ibaraki, Y., & Gupta, S. D. (2010). Estimation of the chlorophyll content of micropropagated potato plants using RGB based image analysis. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 100(2), 183-188.
- Zhang, J., Li, M., Sun, Z., Liu, H., Sun, H., & Yang, W. (2018). Chlorophyll content detection of field maize using RGB-NIR camera. *IFAC-PapersOnLine*, 51(17), 700-705.

- Zhang, M., Zhou, J., Sudduth, K. A., & Kitchen, N. R. (2020). Estimation of maize yield and effects of variable-rate nitrogen application using UAV-based RGB imagery. *Biosystems engineering*, 189, 24-35.
- Zheng, H., Zhou, X., He, J., Yao, X., Cheng, T., Zhu, Y., Tian, Y. (2020). Early season detection of rice plants using RGB, NIR-GB and multispectral images from unmanned aerial vehicle (UAV). *Computers and Electronics in Agriculture*, 169, 105223.

7. CONCLUSÃO GERAL

Os sensores portáteis e remotos mostraram ser uma ferramenta que consegue boas correlações com a quantidade de clorofila presente na cultura e desta forma, podem ser utilizados como ferramenta eficiente no manejo do N.

Dentre os sensores de clipe a utilização do Dualex apresentou correlação com SPAD de 88 a 92% isso demonstra que o Dualex é um sensor que pode ser utilizado na cultura do milho para estimar clorofila, visto que tem eficiência próxima com o SPAD que já está consagrado no mercado. A vantagem que o Dualex ainda apresenta a possibilidade de estimar de uma só vez antocianina, flavonoides e ainda fornece um índice de balanço de nitrogênio.

Dentre as formas de auxiliar no manejo de nitrogênio no milho surgem outras possibilidades além do Dualex e SPAD que seria a utilização de VANT acoplados com câmeras de baixo custo (RGB) a fim de auxiliar em grandes áreas esse manejo. Desta forma se desenvolveu primeiro métodos metodológicos para estimar qual deveria ser a área de interesse (AI) que foi notado que a melhor forma seria usar 100% de todas as parcelas avaliadas.

Depois da metodologia foi gerado um cálculo matemático utilizando todos os valores das 3 bandas nas 3 áreas e chegando à conclusão que a combinação das bandas Green e Blue na equação $68,65 + (0,36*(Green+Blue))$ consegue estimar até 66% de nitrogênio presente na cultura do milho.