

EFICIÊNCIA DE USO DO NITROGÊNIO POR HÍBRIDOS DE MILHO DE ALTO  
POTENCIAL PRODUTIVO

por

RAFAEL PRADO BERBERT

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Bioenergia e Grãos.

Rio Verde-GO

Outubro/2019

EFICIÊNCIA DE USO DO NITROGÊNIO POR HÍBRIDOS DE MILHO DE ALTO  
POTENCIAL PRODUTIVO

por

RAFAEL PRADO BERBERT

Comitê de Orientação:

Prof. Dr. Gustavo Castoldi – IF Goiano

Prof. Dr. Pablo Diego Silva Cabral – IF Goiano

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

B136e Berbert, Rafael Prado  
EFICIÊNCIA DE USO DO NITROGÊNIO POR HÍBRIDOS DE  
MILHO DE ALTO POTENCIAL PRODUTIVO / Rafael Prado  
Berbert; orientador Gustavo Castoldi; co-orientador  
Pablo Diego Silva Cabral. -- Rio Verde, 2019.  
40 p.

Dissertação ( em Mestrado Profissional em  
Bioenergia e Grãos) -- Instituto Federal Goiano,  
Campus Rio Verde, 2019.

1. SPAD. 2. Dualex. 3. EUN. 4. Clorofila. 5.  
Sensores. I. Castoldi, Gustavo, orient. II. Cabral,  
Pablo Diego Silva, co-orient. III. Título.

Responsável: Johnathan Pereira Alves Diniz - Bibliotecário-Documentalista CRB-1 nº2376

**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 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

**Identificação da Produção Técnico-Científica**

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese  | <input type="checkbox"/> Artigo Científico              |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação                      | <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: _____ |   |

Nome Completo do Autor: Rafael Prado Berbert

Matrícula: 2017201331540123

Título do Trabalho: EFICIÊNCIA DE USO DO NITROGÊNIO POR HÍBRIDOS DE MILHO DE ALTO POTENCIAL PRODUTIVO

**Restrições de Acesso ao Documento**

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique: \_\_\_\_\_

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIIF Goiano: 28/04/20

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:

1. 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;
2. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, 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;
3. 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, 28/04/2020.



Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:



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  
CAMPUS RIO VERDE - GO  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOENERGIA E GRÃOS

## ATA Nº 17 (DEZESSETE) BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos trinta e um dias do mês de outubro do ano de dois mil e dezenove, às 13:30 (treze horas e trinta minutos), reuniram-se os componentes da Banca Examinadora: Prof. Dr. Gustavo Castoldi (orientador), Prof. Dr. José Milton Alves (avaliador interno), Prof. Dr. Adriano Perin (avaliador interno) e Prof. Dr. David Carlos Ferreira Baffa (avaliador externo), sob a presidência do primeiro, em sessão pública realizada no Auditório do Pavilhão da Pesquisa e Pós-Graduação do IF Goiano – Campus Rio Verde, para procederem a avaliação da defesa de Dissertação, em nível de mestrado, da autoria de **RAFAEL PRADO BERBERT**, discente do Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos 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 Dissertação para, em 30 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o 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 Bioenergia e Grãos, e procedida às correções recomendadas, a Dissertação foi APROVADA, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM BIOENERGIA E GRÃOS**, na área de concentração Agroenergia, pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGBG da versão definitiva da Dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, a defesa 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 Dissertação 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 Dissertação de Mestrado, e para constar, eu, Pâmella Trayci da Silva Gonçalves, secretária do PPGBG, lavrei a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada pelos membros da Banca Examinadora em quatro vias de igual teor.

Prof. Dr. David Carlos Ferreira Baffa  
*Avaliador externo*  
Monsanto do Brasil

Prof. Dr. José Milton Alves  
*Avaliador interno*  
IF Goiano/ Campus Rio Verde

Prof. Dr. Adriano Perin  
*Avaliador interno*  
IF Goiano/ Campus Rio Verde

Prof. Dr. Gustavo Castoldi  
*Presidente da banca*  
IF Goiano/ Polo de Inovação



INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO  
Campus Rio Verde - GO

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano  
Campus Rio Verde  
CEP 75901-970 – Caixa Postal 66  
Fone: (64) 3620-5643, Fax: (64) 3620-5640  
Rio Verde GO

EFICIÊNCIA DE USO DO NITROGÊNIO POR HÍBRIDOS DE MILHO DE ALTO  
POTENCIAL PRODUTIVO

por

RAFAEL PRADO BERBERT

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Castoldi – IF Goiano

Prof. Dr. Pablo Diego Silva Cabral – IF Goiano

Examinadores: Prof. Dr. Jose Milton Alves – IF Goiano

Prof. Dr. Adriano Perin – IF Goiano

Dr. David Carlos Ferreira Baffa

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha esposa, que esteve sempre ao meu lado em todas as etapas deste árduo processo, ao meu filho que sempre será o motivo pelo qual trabalho e me desenvolvo para poder assim ser seu exemplo de homem e de profissional. Também aos meus pais e irmãos, tios, tias, e avós que foram a base da minha formação.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde, por disponibilizar excelente estrutura para as aulas, biblioteca, laboratórios e equipamentos. Ao programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos, pela oportunidade de realizar o curso de mestrado profissional.

Aos professores do programa em geral, porém especialmente aos professores Gustavo Castoldi e Pablo Cabral, que me orientaram com tanta paciência e grande parceria. Também gostaria de agradecer muito ao professor Tavvs Micael Alves, pelas conversas que se tornaram aulas particulares pelo grande aprendizado que adquiri.

Um agradecimento especial ao colega Thomas Jefferson Cavalcante, pessoa primordial nas avaliações e análises feitas para que o ensaio trouxesse informações e assim fosse possível a escrita desta dissertação.

Agradeço também ao meu gestor David Baffa, pessoa que admiro e considero muito, sem seu apoio não seria possível realizar o sonho de ser aluno de mestrado e além disso me proporcionou crescimento profissional que marcará de maneira extremamente positiva minha carreira e minha vida.

Não menos importante, gostaria de agradecer a empresa a qual trabalho por me disponibilizar tempo para execução desse projeto, assim como os colegas que trabalham comigo por ter me auxiliado de alguma forma para que o ensaio fosse colocado no campo, avaliado e colhido.

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	1
ABSTRACT.....	3
1. INTRODUÇÃO.....	5
2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	7
2.1.    Cultivo do Milho: Evolução e Importância Econômica.....	7
2.2.    Uso do Nitrogênio e sua importância na cultura do milho.....	8
2.3.    Uso de ferramentas de sensoriamento para estimar o status de nitrogênio em plantas.....	10
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1.    Área experimental.....	15
3.2.    Delineamento experimental e tratamentos.....	16
3.3.    Implantação e condução do ensaio.....	16
3.4.    Avaliações.....	17
3.4.1. Sensores portáteis.....	17
3.4.2. Sensores embarcados e análise de imagens.....	18
3.4.3. Eficiência de uso do N e produtividade.....	19
3.5.    Análises estatísticas.....	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	21
5. CONCLUSÃO.....	34
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

# EFICIÊNCIA DE USO DO NITROGÊNIO POR HÍBRIDOS DE MILHO DE ALTO POTENCIAL PRODUTIVO

por

RAFAEL PRADO BERBERT

(Sob orientação do Professor Dr. Gustavo Castoldi)

## RESUMO

Pela importância da cultura do milho no mercado agrícola brasileiro e sua área plantada crescer a cada ano, empresas de melhoramento genético têm investido cada vez mais na pesquisa de híbridos que desempenhem grande potencial produtivo. Além disso, o uso de nitrogênio para melhorar o desempenho produtivo. Com o objetivo de identificar índices vegetativos que se correlacionem com eficiência de uso de nitrogênio que auxiliem na diferenciação de híbridos e classificá-los segundo a responsividade e eficiência quanto ao uso de nitrogênio, realizou-se este ensaio. Os híbridos DKB290, DKB310, DKB3700, DKB320, P3646, P30F53, DAS610, MG580, AS1633 e AG8700 foram cultivados sob dois níveis de nitrogênio - baixo ( $54 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) e alto ( $153 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). O ensaio foi conduzido no município de Rio Verde, no estado de Goiás em um solo do tipo Latossolo Vermelho argiloso. Foram realizadas avaliações quantitativas em relação as características agronômicas e utilizados sensores para avaliação do índice SPAD e determinação de quantidade de clorofila utilizando sensores embarcados em UAV, além de calculadas a EUN desses híbridos em relação a produtividade final entre as doses de N. Os híbridos DKB3700 e DKB290 foram mais eficientes segundo teste de Tukey a 5% de significância. Dentre as avaliações feitas existiu correlação entre EUN e diferença entre a produtividade dos híbridos nas diferentes doses de N, assim como foi

observado correlação entre índice SPAD, teor de clorofila e o índice vegetativo D678/500.

PALAVRAS-CHAVE: SPAD; Dualex; EUN; Clorofila, Sensores, UAV, *Zea mays*.

## EFFICIENCY OF NITROGEN USE BY MODERN CORN HYBRIDS.

By

RAFAEL PRADO BERBERT

(Sob orientação do Professor Dr. Gustavo Castoldi)

### ABSTRACT

Corn is a very important crop in agricultural marketplace in Brazil. That is why planted area has been increasing, and many plant breeding companies has been investing every year more money to develop new hybrids that have great productive potential. Other relevant think is nitrogen use to improve yield. This experiment was carried out to identify vegetative indices that correlate with nitrogen use efficiency, as well as to assist in the hybrids differentiation and classify them according to responsiveness and efficiency regarding nitrogen use. Dekalb (DKB290, DKB310, DKB3700, DKB320); Pionner (P3646, P30F53); DOW (DAS610); Morgan (MG580); Agroeste (AS1633) and Agrocere (AG8700) hybrids, that represent different crop cycles between then, were evaluated using 2 rates of nitrogen, level 1 with 54 kg.ha<sup>-1</sup> and level 2 with 153 kg.ha<sup>-1</sup>. The test was conducted in the Rio Verde city, in the Goiás state, in a clayey Red Latosol type soil. Quantitative evaluations were made in relation to agronomic characteristics related and sensors were used to evaluate index like SPAD and chlorophyll quantity on the aerial plant leaves, some sensors were shipped on drones to verify if there is correlation of vegetative index with the N efficiency. Those evaluations demonstrated that modern hybrids use nitrogen with different effectiveness. The DKB3700 and DKB290 hybrids were more efficient according to the Tukey test at 5% significance. The 10 hybrids tested were classified according to their responsiveness and

efficiency regarding the nitrogen use. Among the evaluations made, there was a correlation between EUN and difference between the hybrids productivity in the different N doses, as well as a correlation between SPAD index, chlorophyll content and vegetative index D678 / 500 was observed.

**KEY WORDS:** SPAD; Dualex; EUN; Clorofila, Sensores, VANT, Zea mays.

## 1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas mais importantes no país, sendo a segunda mais plantada no território brasileiro (CONAB 2019). É também uma cultura de extrema importância para a economia mundial, sendo os Estados Unidos os maiores produtores desse grão, com produção na safra 2018/2019 de 361,4 milhões de toneladas. O Brasil é atualmente o terceiro maior produtor de milho do mundo (USDA 2018).

Para tanto, o incremento no potencial genético das culturas pelo melhoramento genético, disponibilizando híbridos de alto potencial produtivo no mercado, não é o único fator para aumento de produtividade nas lavouras; a utilização de fertilizantes se tornou primordial tanto para obtenção de altos rendimentos quanto para melhoria da qualidade dos grãos (Floss *et. al.* 2007).

O milho, por sua vez, é uma cultura extremamente exigente no uso de nutrientes, principalmente nitrogênio (N). A planta de milho acumula 22% da sua necessidade de N até o estágio fenológico V<sub>3</sub> (três folhas completamente expandidas) e de até 60% até o estágio fenológico V<sub>6</sub> (seis folhas completamente expandidas), e tem extração estimada, avaliado na matéria seca, de 374.6 kg ha<sup>-1</sup> no estágio final de desenvolvimento (Von Pinho *et al.* 2009). O N é o nutriente que mais limita o crescimento das plantas, quando em baixa disponibilidade pode reduzir a expansão e divisão celular e como consequência a área foliar e a fotossíntese, e como dito anteriormente, é o nutriente mineral extraído em maior quantidade pelo milho, o que mais influencia a produtividade de grãos (Duete *et al.* 2009 e Chapin 1980).

Pelos motivos supracitados, a eficiência do uso de nutrientes, principalmente o N, é de extrema importância para que as lavouras sejam mais produtivas e com menores impactos econômicos e ambientais (Carvalho *et al.* 2012).

Um fator que influencia na questão nutricional das plantas é a variabilidade genética (Fageria 1998), existindo respostas diferentes entre os híbridos de milho quanto ao N, por isso, é fundamental a identificação além da procura por genótipo que apresente melhor resposta, ou seja, mais eficiente quanto ao uso do N (Hirel *et al.* 2001).

No entanto, são necessárias novas ferramentas para identificação de híbridos que desempenham melhor quanto ao uso de nitrogênio, e índices vegetativos, calculados a partir de imagens obtidas por sensores podem auxiliar nesta determinação. Nesse contexto, objetivou-se determinar a campo, a eficiência no uso do nitrogênio por híbridos de alta performance através de avaliações quantitativas para características agronômicas e uso de sensores e imagens de sensores.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Cultivo do Milho: Evolução e Importância Econômica**

No ano de 2019, foram produzidos 1108,2 milhões de toneladas do grão distribuídos em 192,69 milhões de hectares semeados, dentro do panorama mundial, os maiores produtores são os Estados Unidos, a China e o Brasil. Outra informação importante sobre o milho é que o consumo mundial em 2019, foi de 1129,1 milhões de toneladas (USDA 2019).

Em 2019, apesar da redução da área plantada do milho primeira safra ter sido de 3,6% em relação à safra passada, foram plantados no Brasil 4.901,3 mil hectares. No entanto foi observado aumento de área plantada de 7,1% no milho segunda safra, representando o montante de 12.353,5 mil hectares (CONAB 2019).

Um dos fatores que contribuiu para o aumento de produtividade, expansão da cultura em vários estados e diferentes épocas de semeadura, é o melhoramento genético. A introdução de híbridos no mercado aumentou 150% a produtividade no país (Bueno *et al.* 2006). Foi a primeira cultura que teve seu melhoramento genético com base no princípio da heterose. (Abboud *et al.* 2013)

Outro grande impulsionador da produção de milho no Brasil foi o uso de cultivares de soja precoce (Karam *et al.* 2014) e com semeadura antecipada na primeira safra, possibilitando o adiantamento do cultivo do milho em segunda safra já que existe grande aproveitamento das condições climáticas, resultando na obtenção de produtividades acima da média nas principais regiões produtoras.

## 2.2 Uso do Nitrogênio e sua importância na cultura do milho

O método para produção desse fertilizante é datado de 1908 por Fritz Haber, um químico alemão que pesquisou a síntese da amônia a partir do nitrogênio atmosférico. Esse método foi testado por Carl Bosch em 1931 e por isso o processo se chama Haber-Bosch. Esse método é utilizado até os dias de hoje na produção de fertilizantes nitrogenados e foi de extrema importância para o salto de produtividade das lavouras. No entanto, segundo Abboud et al. (2013), esse método é muito dependente do petróleo gerando grandes quantidades de gases responsáveis pelo efeito estufa.

A adubação nitrogenada nas lavouras através de fertilizantes químicos é também uma ferramenta para se obter boas produtividades de milho. Este nutriente é de extrema importância para qualquer planta, sendo vital para o crescimento e produção já que é integrante da clorofila, pigmento presente nos cloroplastos e responsável pela realização da fotossíntese (Tisdale & Nelson 1958). Porém, a absorção e acúmulo desse nutriente variam de acordo com o genótipo de milho, pois estes possuem algumas características metabólicas diferentes (Moll *et al.* 1982).

Materiais genéticos responsivos e/ou eficientes ao N constituem em forte estratégia para o melhoramento de milho. A seleção de cultivares para ambientes pobres em N é buscada por diversos pesquisadores (Souza *et al.* 2009; Cancellier *et al.* 2011; Heinz *et al.* 2012; Soares *et al.* 2009, 2011)

Pensando em importância, o N é o macronutriente primário mais exigido pelo milho e por esse motivo, na maioria das vezes é o que mais limita a produtividade de grãos (Okumura *et al.* 2011). Segundo Cancellier et al. (2011) esse nutriente promove alterações no peso de cem sementes e peso hectolitrico.

Coelho (2007), ressalta que a quantidade média de N utilizada em lavouras comerciais de milho no Brasil é de 60 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto, nos Estados Unidos e na

China, é de 150 kg ha<sup>-1</sup> e 130 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Existem recomendações técnicas para o alcance de altas produtividades de 60 a 100 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura (cultivo em sequeiro) e de 120 a 160 kg ha<sup>-1</sup> de N para cultivo irrigado (Amaral Filho *et al.* 2005; Coelho 2007; Pavinato *et al.* 2008).

Normalmente, os agricultores que obtêm produtividades elevadas aplicam altas doses de N. Essas geralmente são acima dos níveis recomendados em suas regiões pelos órgãos oficiais de pesquisa e extensão (Coelho *et al.* 2004). Com a aplicação de 289 kg ha<sup>-1</sup> de N, Pavinato *et al.* (2008) alcançaram produtividade da cultura do milho superior a 12.000 kg ha<sup>-1</sup>.

As influências da adubação nitrogenada, na cultura do milho, são distintas, em relação aos sistemas de manejo de solo adotados, por exemplo, em sistema de preparo convencional do solo a produtividade máxima de grãos com a aplicação de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura (Veloso *et al.* 2006). Já para Meira *et al.* (2009) as doses de 90-120 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura obtiveram maiores produtividades.

Alguns trabalhos demonstram que em sistema de plantio direto tem resposta a doses de N entre 90 kg ha<sup>-1</sup> (Silva *et al.* 2005) e 150 kg ha<sup>-1</sup> (Gomes *et al.* 2007). Porém outros trabalhos mostram que para alcançar máxima produtividade, a cultura necessitou de quantidades acima de 150 kg ha<sup>-1</sup> (Amaral Filho *et al.* 2005), de 200 kg ha<sup>-1</sup> (Ohland *et al.* 2005). Já em condições irrigadas foi necessário adubação com dose acima de 280 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura (Pavinato *et al.* 2008), essas foram feitas entre os estádios fenológicos V<sub>4</sub> e V<sub>8</sub> (quatro e oito folhas completamente expandidas).

A literatura diz que entre os estádios V<sub>9</sub> e V<sub>10</sub> é que ocorre maiores absorção de nutrientes pelo milho, e principalmente do nitrogênio, que se acumula nas folhas (Fancelli 2015; Souza *et al.* 2015). Em avaliação de dois híbridos de milho Von Pinho

et al. (2009) observaram incremento significativo no acúmulo de N aos 44 dias e por consequência um acúmulo crescente e linear até os estádios finais de desenvolvimento.

Várias estratégias podem ser realizadas com o intuito de aumentar a eficiência no uso de N, tais como a redução das doses de adubos (Aguiar *et al.* 2012) para níveis que sejam produtivos e seguros; a utilização de leguminosas em rotação, que fornecem N e melhoram várias características do solo; a fixação biológica de N em gramíneas; a agricultura de precisão, e a seleção e/ou o desenvolvimento de cultivares com maior eficiência no uso de N (Carvalho *et al.* 2012).

Uma das características secundárias mais utilizadas e estudadas além da produtividade final do material tem sido teor de clorofila (Lafitte & Edmeades 1994), e fluorescência da clorofila (Durães *et al.* 2001).

É observado também, que o comportamento de genótipos se diferencia quanto a mudança de níveis de nitrogênio disponível às plantas, isso indica os diferentes mecanismos relacionados a eficiência no uso de nitrogênio, pois, materiais que interagem diferencialmente com N expressam o sinal de que diferentes genes estão sendo usados nos ambientes com níveis diferentes deste nutriente. Neste contexto, o índice de eficiência de uso do nitrogênio (EUN) vêm sendo utilizados para classificar as populações de milho (Fischer *et al.* 1983; Cancellier *et al.* 2011).

### **2.3 Uso de ferramentas de sensoriamento para estimar o status de nitrogênio em plantas**

O termo sensoriamento remoto foi criado para designar o desenvolvimento dessa nova tecnologia de instrumentos capazes de obter imagens da superfície terrestre a distâncias remotas (Meneses *et al.* 2012). São imagens capturadas por sensores de satélites orbitais capazes de medições da radiação eletromagnética emitida pela superfície de qualquer objeto, como por exemplo a reflexão da luz solar ou fotos

captadas por aeronaves tripuladas e mais recentemente pelos VANT (veículo aéreo não tripulado).

Tem como tarefa medir a reflectância dos objetos na superfície terrestre, dada pela porcentagem de luz que é refletida por esses objetos. Na agricultura essa medição é possível, justamente pelo processo da fotossíntese das plantas, pois se obtém glicose através da energia da luz solar e do uso do dióxido de carbono e água. A responsável por esse processo é a clorofila, e esta tem alta absorção da energia eletromagnética na região do espectro visível (Moraes 2001).

A absorção eletromagnética é mensurada através de sensores como o SPAD que é um clorofilômetro portátil e proporciona leitura instantânea de maneira não destrutiva da planta, sendo uma alternativa para avaliar o estado de N em tempo real, pelo fato de haver correlação significativa entre a intensidade do verde e o teor de clorofila e a concentração de N na folha (Gil *et al.* 2002; Fontes & Araújo 2007). Este medidor avalia, quantitativamente, a intensidade do verde da folha, medindo as transmissões de luz a 650 nm, em que ocorre absorção de luz pela molécula de clorofila, e a 940 nm, e não ocorre absorção (Gil *et al.* 2002; Ferreira *et al.* 2006).

Outro sensor é o DUALEX ("dual excitation"), que fornece informação do teor de polifenóis da cultura por meio da medição da absorção do ultravioleta da epiderme da folha pela excitação dupla da fluorescência da clorofila, emitindo um feixe de luz de comprimento de onda a 375 nm (absorvido pelos polifenóis) e outro de referência a 650 nm (região do vermelho), que penetra na epiderme da folha (Goulas *et al.* 2004; Cartelat *et al.* 2005).

Esses feixes de raios UV não absorvidos pelos polifenóis excitam a clorofila no mesófilo foliar, sendo assim, a fluorescência emitida pela clorofila sob esta dupla excitação é proporcional à absorção de UV pela epiderme da folha, e fornece

indiretamente a concentração de polifenóis. Como a maioria dos compostos fenólicos está presente na epiderme, essa medida pode ser utilizada para estimar o teor de polifenóis global da folha (Goulas *et al.* 2004).

A clorofila nas folhas tem alta correlação com nível de N na planta (Lopes *et al.* 2012) e segundo estudos o verde das folhas está fortemente relacionado ao teor de clorofila, sendo assim pode ser correlacionada ao status de N na planta (Fox & Walthall 2008; Hunt *et al.* 2013).

As cores são basicamente definidas pelo comprimento de onda de luz. As plantas absorvem e refletem a luz diferentemente de acordo com o comprimento de onda. Elas tipicamente absorvem a luz azul e vermelha, enquanto refletem grande quantidade da luz no infravermelho próximo, ou também conhecido pela sigla em inglês NIR (near infrared), que não é visível ao olho humano, mas que pode ser captada por sensores devidamente construídos para registrar a reflectância nessa faixa espectral e verde que já é visível ao olho humano (Florenzano 2011).

Cada faixa do espectro eletromagnético pode ser melhor avaliada através de combinações matemáticas de diferentes bandas espectrais. Essas transformações são medidas da atividade da vegetação utilizam em especial às faixas do visível e NIR e são denominados de Índices de Vegetação (IVs) (Bernardi *et al.* 2014).

Inúmeros índices vegetativos (IVs) já foram desenvolvidos para diferentes finalidades. Pesquisadores no mundo inteiro usam as características de absorção associadas com constituintes bioquímicos para avaliar as culturas em estudo. Assim, diferentes índices são utilizados na agricultura e são otimizados para avaliar um processo de interesse.

Alguns índices espectrais foram propostos para capturar os processos fotoquímicos associados com a atividade da fotossíntese tal como o uso da eficiência da

luz ou estimar o conteúdo de pigmentação da folha (clorofila), enquanto outros foram projetados para obter o índice de área foliar (IAF). Os IVs mais utilizados para analisar e avaliar o status nutricional das plantas e biomassa são o NDVI e o GNDVI.

O NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) foi desenvolvido por J. W. Rouse em 1974, e mais tarde validado por C. J. Tucker em 1979, sendo expresso pelo intervalo de valores entre -1 a +1, através de combinações lineares das bandas do vermelho e NIR, enquanto o maior valor representa cobertura vegetal densa e sadia (Sebem 2006).

Já o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada Verde (GNDVI) pode ser calculados da mesma maneira, porém, ao invés do vermelho é calculado utilizando as refletâncias do verde e do NIR. Pode ser utilizado como indicador do estado de nitrogênio, concentração de clorofila e vigor da vegetação (Gitelson *et al.* 1996). Este índice se mostra mais sensível à concentração de clorofila e estudos provam que estes índices (índices bioquímicos) são mais responsivos e confiáveis para alguns tipos de cultura (Silva Junior *et al.* 2007). Valores de GNDVI para plantas variam de 0 a 1 segundo equação:

$$\text{GNDVI} = (\text{NIR} - \text{Green}) / (\text{NIR} + \text{Green})$$

Outros índices vegetativos também são utilizados para determinação do estado nutricional das plantas, como o caso do Índice de clorofila (CI<sub>Green</sub>), que foi especificamente proposto para caracterizar o teor de clorofila total. Alguns estudos têm testado as relações entre conteúdo de clorofila total e IVs, mostrando que alguns podem explicar mais de 87% de variação no conteúdo de clorofila em culturas (Peng *et al.* 2011; Gitelson *et al.* 2003 e 2005). A equação abaixo representa este índice:

$$\text{CI}_{\text{Green}} = (\text{NIR} / \text{Green}) - 1$$

A diferença entre bandas espectrais também pode indicar características de degradação de clorofila e carotenoides em folhas de plantas, como é o caso do índice D678/500 (Difference 678/500) que se mostrou sensível a alterações de pigmentos durante a senescência foliar e amadurecimento de frutos (Merzlyak *et. al.* 1999). A correlação dessas duas bandas é importante pois, segundo Jensen (2009) existem duas regiões ótimas para a observação das características de absorção da radiação pelas clorofilas, de 450 a 520 nm e de 630 a 690 nm. Nestas faixas espectrais podem ser verificados picos de absorção em comprimentos de onda específicos como 430 e 660 nm para a clorofila a e 450 e 650 nm para a clorofila b. De acordo com Read *et al.* (2003) na região do visível, a reflectância varia em função das concentrações de clorofila das folhas. Sua equação é expressa da seguinte forma:

$$D678/500 = \text{Red} - \text{Blue}$$

Outros índices utilizam bandas não visíveis aos olhos humanos, o RVI (índice de vegetação reverso) captura de forma mais simples o contraste nos valores de infravermelho próximo e vermelho para áreas de vegetação verde saudável. Para áreas totalmente vegetadas é uma medida muito sensível, mas muito menos sensível em áreas com cobertura esparsa (Birth *et. al.* 1968).

O GRVI tem a mesma forma que o RVI, mas substitui a banda de imagem verde para vermelho no denominador. Por causa de maior refletância da vegetação em comprimentos de onda verdes em comparação ao vermelho, o GRVI é menos sensível a cobrir variações de alta áreas de cobertura vegetativa que o RVI (Sripada *et. al.* 2006). Sua equação é:

$$GRVI = \text{NIR}/\text{GREEN}$$

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Área experimental

O trabalho foi realizado no município de Rio Verde - GO, em área localizada nas coordenadas longitude O 17° 49' 33.319" e latitude S 51° 11' 20.371", e com altitude de 857 metros. O clima da região é tropical, de acordo com Köppen-Geiger, tem estação seca bem determinada (Aw), 23.3°C de temperatura média anual, e 1663 mm de pluviosidade média anual, ilustrado pela figura 1.

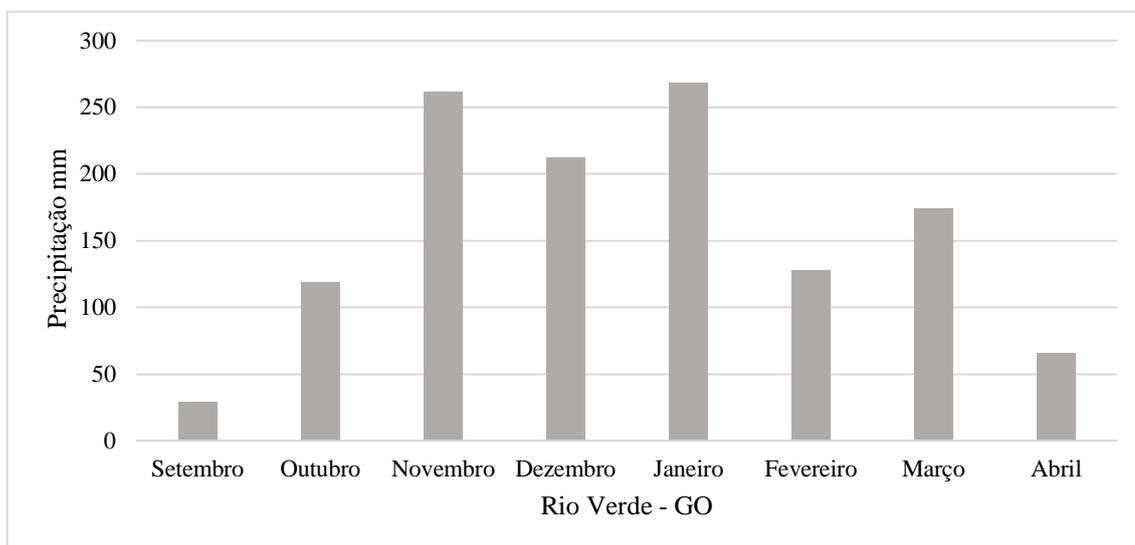


Figura 1. Precipitação média no município de Rio Verde- GO entre 01 de setembro de 2017 a 17 de abril de 2018, correspondentes aos meses de semeadura de soja e milho safrinha.

O solo da área é do tipo Latossolo Vermelho Argiloso, com 156 g kg<sup>-1</sup> de areia, 175 g kg<sup>-1</sup> de silte e 669 g kg<sup>-1</sup> de argila na camada de 0 a 20 cm. Nessa mesma camada, os parâmetros químicos por ocasião da implantação do ensaio eram os seguintes: pH (CaCl<sub>2</sub>) de 5,2, 17,4 mg dm<sup>-3</sup> de P, 55,6 mg dm<sup>-3</sup> de K, 30,4 g dm<sup>-3</sup> de matéria orgânica,

8,37 g dm<sup>-3</sup> de CTC e 4,12 g dm<sup>-3</sup> de soma de bases; 2,90 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca, 1,08 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg e 0,00 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Al e 4,25 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de H; saturação por bases de 49,22% e saturação por Al igual a 0%.

### 3.2. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com duas repetições, em esquema fatorial 10x2, sendo um fator o híbrido e outro fator o nível de N.

Foram utilizados neste trabalho 10 híbridos de diferentes empresas, escolhidos com o objetivo de representar os diferentes ciclos utilizados na região do sudoeste goiano. As características desses híbridos estão relacionadas na tabela 1.

Tabela 1. Características dos híbridos de milho modernos utilizados no trabalho.

Híbrido	Empresa	Ciclo	Classificação	Investimento
DKB 290 VTPRO3	Dekalb	Precoce	Simples	Alto
DKB 310 VTPRO3	Dekalb	Semiprecoce	Simples	Alto
DKB3700	Dekalb	Precoce	Simples	Alto
DKB320	Dekalb	Semiprecoce	Simples	Médio/Alto
P3646	Pionner	Precoce	Simples	Alto
P30F53	Pionner	Precoce	Simples	Alto
DAS610	Dow	Precoce	Simples	Alto
MG580	Morgan	Precoce	Simples	Alto
AS1633	Agroeste	Precoce	Simples	Alto
AG8700	Agrocerec	Precoce	Simples	Alto

Cada híbrido foi submetido a duas diferentes doses de N. O primeiro nível de N corresponde a dose de 54 kg ha<sup>-1</sup> (Baixo). O segundo nível, corresponde a dose de 153 kg ha<sup>-1</sup> de N (Alto).

### 3.3. Implantação e condução do ensaio

A semeadura foi realizada em 14 de fevereiro de 2018 em sistema plantio direto. As parcelas possuíam quatro linhas de 8,7m de comprimento, com espaçamento de

0,50m entre linhas, e densidade de semeadura de 70 mil sementes ha<sup>-1</sup>. Foi considerado como área útil a parcela como um todo, totalizando 17,4m<sup>2</sup>. O plantio foi realizado por meio de uma semeadora mecânica.

No momento da semeadura foi realizado adubação no sulco de plantio de 54 kg ha<sup>-1</sup> de N, 87 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 99 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O para todas as parcelas. Porém como parte do fatorial foi feita aplicação na mesma data do plantio e conforme tratamento de mais 99 kg ha<sup>-1</sup> de N. Esta operação foi realizada por um adubador mecânico desenvolvido exclusivamente para depositar o fertilizante ao lado da linha semeada e com incorporação de cerca de 1cm do adubo em questão. Esses nutrientes foram fornecidos através do uso de fertilizantes de liberação lenta com grânulos revestidos por enxofre elementar.

A condução do ensaio foi realizada conforme planejamento prévio em relação a aplicação de inseticidas, herbicidas e fungicidas. Os produtos químicos foram utilizados a fim de manter as plantas livres de patógenos e insetos bem como manter a área livre de plantas infestantes os quais são capazes de interferir na produtividade final do experimento.

Foram utilizados produtos registrados no ministério da agricultura (MAPA) e as aplicações foram realizadas ou via terrestre através de pulverizador acoplado em trator ou através de avião agrícola, decisão tomada dependendo do alvo e estágio vegetativo das plantas.

### **3.4. Avaliações**

#### **3.4.1. Sensores portáteis**

No estágio fenológico V<sub>9</sub>, em três plantas de cada parcela foram realizadas medições com sensor portátil SPAD (Soil plant analysis development, Minolta SPAD

502 Osaka, Japan) na folha do 9º nó, sendo duas medições por folha, uma do lado direito e outra do lado esquerdo da lâmina foliar.

Nesta mesma data e nas mesmas plantas, utilizou-se o sensor portátil Dualex para determinar o índice de clorofila, o índice de flavonóis, índice de antocianina e o índice de balanço de nitrogênio, este último obtido pela relação entre índice de clorofila e o índice de flavonoides.

### **3.4.2. Sensores embarcados e análise de imagens**

Aos 41 dias após semeadura, foram obtidas imagens aéreas do ensaio com drone multirrotor (modelo PHANTOM 4, DJI, Beijing, China), embarcado com uma câmera RGB (sensor: 1 CMOS e Pixels efetivos: 20M) para coleta de bandas vermelho, verde e azul; e com um sensor denominado Agrocam com 12 MP (1 sensor CMOS com pixels efetivos de 4000 x 3000), que por sua vez tem capacidade de coletar dados de bandas espectrais NIR, verde e azul. O voo foi realizado entre as 11 e 12 horas, a 30 m de altura e com sobreposição lateral e frontal de 80%. Com esses equipamentos, foi possível gerar imagens com resolução espacial de 1,2 cm pixel<sup>-1</sup>.

O estádio V<sub>9</sub> foi escolhido, pois nessa fase não há interferência do pendão que ocorre na fase vegetativa de desenvolvimento da cultura, sendo assim as imagens aéreas foram exclusivamente das folhas e com coloração predominante verde.

As imagens foram processadas utilizando software Pix4D e a ortofoto foi classificada no software QGIS, utilizando classificação supervisionada através de três amostras de treinamento e duas classes (parcelas com solo e parcelas com sombra) a fim de separar solo e sombra. Posteriormente, foi feito o cálculo para obtenção dos índices vegetativos D678/500, CIGreen, GNDVI e GRVI através do geoalgoritmo “r.to.vect”.

### 3.4.3. Eficiência do uso de N e produtividade

Em V<sub>9</sub>, foi coletado uma planta de cada parcela (caule e folhas). As plantas foram lavadas e secadas em estufa com circulação forçada de ar a 65°C, até a massa constante. A amostra foi pesada em balança de precisão para determinação de massa seca das plantas. Posteriormente, foram moídas e analisadas quanto aos teores de N, conforme método de Kjeldahl, descritas em EMBRAPA (2009).

A colheita foi realizada no dia 7 de julho de 2018, aos 142 dias após o plantio, utilizando colhedora New Holland CR5080 e plataforma de colheita de milho Stara Elektra. Esta máquina foi equipada com balança graduada em quilogramas e determinador de umidade de grãos em percentagem para avaliação de produtividade das parcelas, considerando umidade de 13%.

Após colheita, os dados foram tabulados e se calculou a eficiência de uso de N (EUN) segundo metodologia de Fischer et al. (1983), obtido pela equação:

$$EUN = [Y_{a(-N)}/Y_{a(+N)}] \times [Y_{x(-N)}/Y_{x(+N)}]$$

Em que,  $Y_{a(-N)}$  é a produção do genótipo “a” sob baixo N;  $Y_{a(+N)}$  é a produção do genótipo “a” sob alto N;  $Y_{x(-N)}$  é a produção média de todos os genótipos sob baixo N;  $Y_{x(+N)}$  é a produção média de todos os genótipos sob alto N.

Também foi calculado o  $\alpha N$ , parâmetro determinado pela metodologia de Fageria e Kluthcouski (1980) que estima a eficiência do uso de N calculado pela equação:

$$\alpha N = \frac{\text{Produção com nível ideal de N} - \text{Produção com nível baixo de N}}{\text{Diferença entre o nível ideal e o nível baixo de N (kg.ha}^{-1}\text{)}}$$

### 3.5 Análises estatísticas

Após avaliações, foi realizada a correlação de Pearson (r) para as variáveis avaliadas, sendo a classificação dos coeficientes feita de acordo com sua magnitude, em que  $r = 0$  expressa correlação nula;  $r$  entre 0,30 e 0,60, considerada interação média e  $r$  acima de 0,60, correlação forte. Para Cohen (1988), valores entre 0,10 e 0,29 podem ser

considerados pequenos; escores entre 0,30 e 0,49 podem ser considerados como médios; e valores entre 0,50 e 1 podem ser interpretados como grandes. Dancey e Reidy (2005) apontam para uma classificação ligeiramente diferente:  $r = 0,10$  até  $0,30$  é fraco;  $r = 0,40$  até  $0,6$  considerado moderado e  $r = 0,70$  até  $1$ , forte. As análises de correlação de Pearson foram calculadas pelo programa Microsoft Excel 2016.

As correlações de Pearson foram construída utilizando as diferença dos valores avaliados entre tratamentos com maior nível de N ( $153 \text{ kg.ha}^{-1}$ ) e tratamento com menor nível de N ( $54 \text{ kg.ha}^{-1}$ ).

Também, após as análises e cálculos foram realizadas as pressuposições da análise de variâncias (ANOVA) e o teste de médias (Tukey a 5% de probabilidade) para verificar a diferença entre os tratamentos pelo programa de análise estatística SISVAR.

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Observou-se que o acumulado entre os meses de janeiro e abril foi a cerca de 605mm e segundo Magalhães & Durães (2006), uma lavoura de milho consome aproximadamente 600 mm durante o ciclo e que existem três principais períodos críticos, que são a iniciação floral, a polinização e o enchimento de grãos, sendo assim não houve estresse hídrico no ensaio.

Na análise de correlação de Pearson, a tabela 2 demonstra que existem correlações entre valores avaliados quando comparado à EUN em relação aos dados obtidos pelos sensores portáteis. Para o índice SPAD existe correlação com EUN, classificada como média e de valor  $r = 0,4732$ . Argenta et al. (2001) sugerem nível adequado de nitrogênio em plantas de milho indicados por valores de SPAD de 58,0 no estágio de 10 a 11 folhas completamente expandidas (V10-11) e valores similares foram encontrados por Coelho et al. (2005), estes autores observaram nos estádios V7 (sete folhas completamente expandidas) e V11 leituras do SPAD em torno de 55 e 58, respectivamente. Sendo assim, os dados sugerem que os híbridos quando submetidos a maiores doses tiveram valores SPAD maior, e quanto maior for a diferença entre os níveis de N maior é a EUN.

Outro dado interessante é a correlação entre EUN e teor de clorofila, obtido pelo sensor portátil Dualex. Este por sua vez segue a mesma tendência que o índice SPAD, mas com correção pouco mais fraca, teve valor  $r = 0,3344$ . E, a correlação entre teor de clorofila e índice SPAD é alto, com valor  $r = 0,6565$ .

Tanto o índice SPAD e teor de clorofila demonstram que os híbridos se comportam de maneira diferente entre eles em relação a eficiência no uso de nitrogênio, já que 70% do N contido nas folhas estão nos cloroplastos, participando da síntese e da estrutura das moléculas de clorofila (Marengo & Lopes, 2007). Por essa razão, o teor de clorofila no final da fase vegetativa tem sido relacionado com o estado nutricional de N de diversas culturas (Argenta et al., 2001).

Estes resultados corroboram aos obtidos por outros autores para as culturas da abóbora (Swiader & Moore, 2002), algodão (Neves et al., 2005), batata (Gil et al., 2002), feijoeiro comum (Silveira et al., 2003), melão (Azia & Stewart, 2001), tomate (Ferreira et al., 2006) dentre outras culturas, nos quais foram constatados aumentos nos teores de clorofila total e, ou, valores de índice SPAD nas folhas das plantas com incremento na dose de N aplicada se correlacionando entre eles.

Quando correlacionados os índices vegetativos avaliados, obtidos pela análise de imagens adquiridas pelos sensores embarcados, segundo a tabela 4, o que tem melhor correlação foi o D678/500, tem classificação média e de valor  $r = -0,5635$ . Estes dados demonstram que quanto menor a diferença entre as leituras do índice em maior e menor nível de N maior será a eficiência de uso do nitrogênio.

Quanto aos dados de  $sc.ha^{-1}$  tem, esse tem altíssima correlação com EUN, pois foram calculados com base na produtividade dos híbridos, obteve valor  $r = -0,9967$ , ou seja, quanto menor a diferença entre as produtividades em maior e menor nível de N maior será a eficiência de uso do N.

Tabela 2. Correlações de Pearson (r) entre eficiência do uso de nitrogênio (EUN),  $\alpha$ N, produtividade em sacas por hectare (sc.ha<sup>-1</sup>), exportação de nitrogênio pela cultura (N kg.ha<sup>-1</sup>), valor SPAD (SPAD), teor de clorofila (CLOR), teor de flavonoides (FLAV), teor de antocianina (ANT), índice de balanço de nitrogênio (NBI), banda espectral do infravermelho próximo (NIR), banda espectral verde (GREEN), banda espectral azul (BLUE), índice de vegetação GNDVI, índice de vegetação Clgreen, índice de vegetação GRVI e índice de vegetação D678/500.

	EUN	$\alpha$ N	sc.ha <sup>-1</sup>	N kg.ha <sup>-1</sup>	SPAD	CLOR	FLAV	ANT	NBI	NIR	GREEN	BLUE	GNDVI	Clgreen	D678/500
EUN	1.0000														
$\alpha$ N	0.2292	1.0000													
sc.ha <sup>-1</sup>	-0.9967	-0.272	1.0000												
N kg.ha <sup>-1</sup>	-0.1432	-0.161	0.1399	1.0000											
SPAD	0.4732	0.0111	-0.5143	-0.0896	1.0000										
CLOR	0.3344	0.4036	-0.3819	0.2367	0.6565	1.0000									
FLAV	-0.0246	0.2786	0.0126	-0.3448	0.2962	0.3447	1.0000								
ANT	-0.3569	-0.127	0.3271	0.2036	-0.1024	0.1081	-0.4709	1.0000							
NBI	0.3220	0.2240	-0.3411	0.1139	-0.0302	-0.2414	-0.6693	0.0685	1.0000						
NIR	-0.1545	-0.071	0.1498	0.3444	0.3047	0.4195	0.2346	0.0126	-0.3769	1.0000					
GREEN	0.0219	-0.001	-0.0264	0.1599	0.4433	0.4965	0.3101	-0.0842	-0.4071	0.9607	1.0000				
BLUE	0.0323	0.0342	-0.0417	0.2179	0.4545	0.5178	0.3223	-0.0761	-0.3559	0.9728	0.9899	1.0000			
GNDVI	-0.1684	0.0351	0.1679	0.0020	-0.5140	-0.4663	-0.2699	0.1073	0.3769	-0.8740	-0.9697	-0.9397	1.0000		
Clgreen	-0.1490	0.0854	0.1466	-0.0259	-0.4913	-0.4296	-0.2129	0.0665	0.3517	-0.8850	-0.9678	-0.9395	0.9968	1.0000	
D678/500	-0.5635	-0.329	0.5589	0.4644	-0.2165	-0.2153	-0.3756	0.1651	0.1153	-0.2064	-0.3355	-0.3570	0.4312	0.4175	1.0000

Para melhor entendimento da correlação entre SPAD e a EUN, a figura 2 representa de forma gráfica essa interação entre os dados e foi observado que essa correlação é positiva.

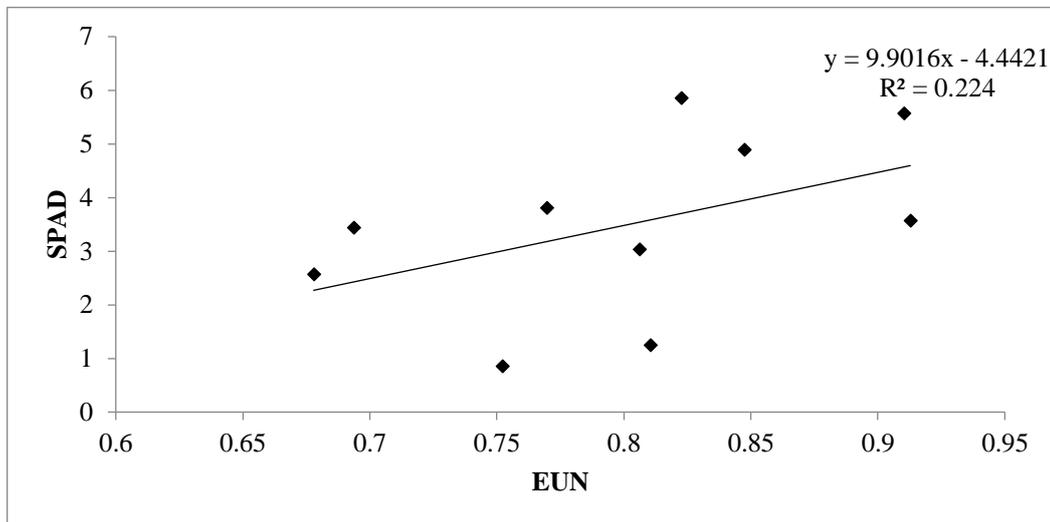


Figura 2. Dispersão dos dados de correlação entre EUN e diferença de índice SPAD dos híbridos entre os níveis de N.

Já a figura 3 ilustra de forma gráfica como os dados correlacionados entre o índice SPAD e o teor de clorofila se comportam. Nessa figura foi possível constatar a afirmação que existe correlação entre os dados e que é positiva, ou seja, o índice SPAD aumenta quando o teor de clorofila aumenta e vice e versa.

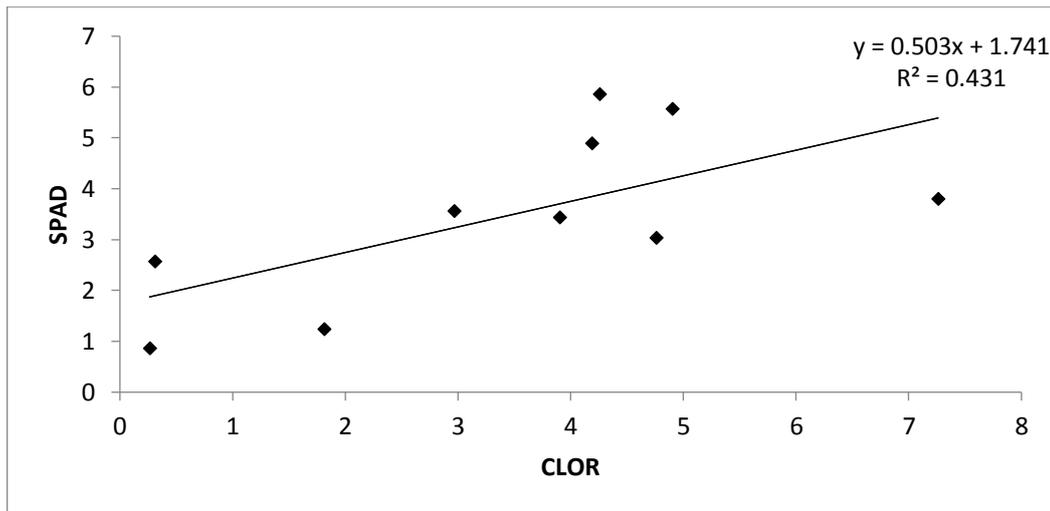


Figura 3. Dispersão dos dados de correlação entre as diferenças de teor de clorofila e diferença de índice SPAD dos híbridos entre os níveis de N.

Bem como os gráficos anteriores e para confirmação da tabela 2, a figura 4 confirma a correlação de Pearson para o IV D678/500. Esse índice vegetativo pode ter sido o que melhor correlaciona com a EUN pois, existe comportamento padrão da refletância de vegetação de cor verde saudável e é fundamentalmente determinado pela clorofila; esta reflete em todo o espectro visível, porém tem seu ápice na faixa da luz verde (500-600 nm), a absorção máxima fica nas faixas espectrais da luz azul (400-500 nm) e da luz vermelha (600-700 nm) (Brandão et al., 2008)

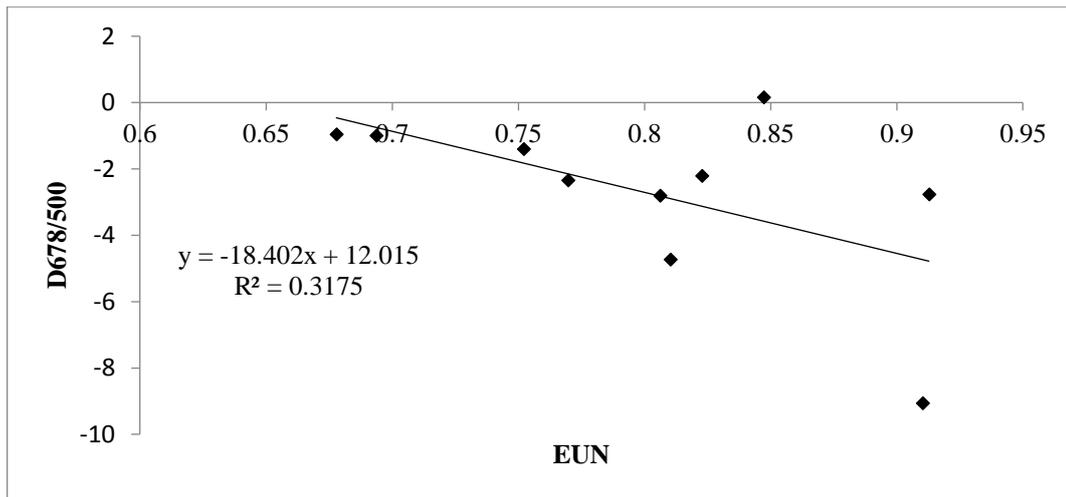


Figura 4. Dispersão dos dados de correlação entre EUN e diferença do teor de clorofila dos híbridos entre os níveis de N.

Na figura 5 o gráfico de dispersão dos dados analisados, com a respectiva fórmula da reta da regressão. Este gráfico demonstra que realmente existe correlação entre EUN e a diferença de produtividade dentre os híbridos em relação ao nível de N utilizado.

Nesta figura fica nítido a correlação negativa entre as duas variáveis, demonstrando que quanto menor a diferença de produtividade entre os dois níveis de N utilizados no estudo, maior é sua eficiência de uso desse nutriente.

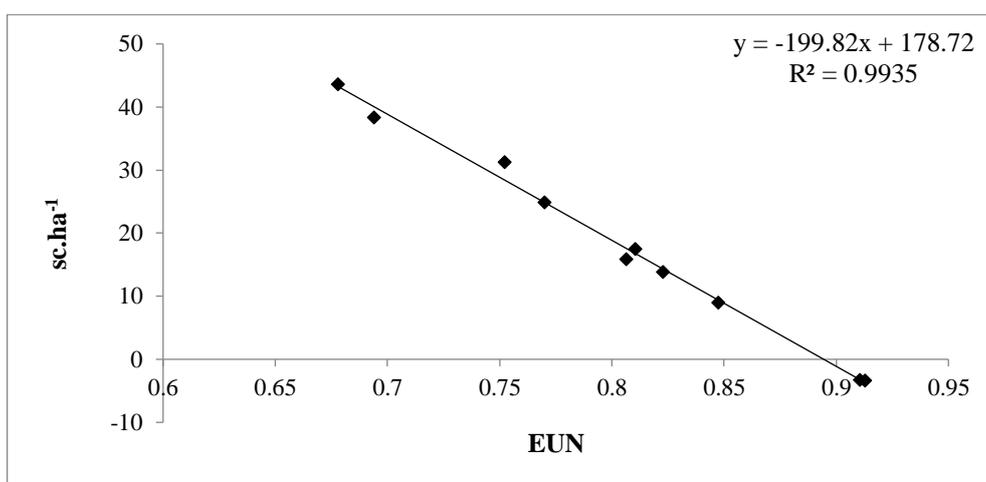


Figura 5. Dispersão dos dados de correlação entre EUN e diferença de produtividade (sc.ha<sup>-1</sup>) dos híbridos entre os níveis de N.

Na tabela 3, pode-se observar que para os valores da EUN, segundo o teste F, existe diferença entre os híbridos a significância de 5%. E, foi observado que o P-valor é inferior a essa significância comprovando que existe diferença estatística entre os híbridos estudados para EUN.

Tabela 3. Resumo do quadro de análise de variância com resultados do quadrado médio e teste F para os EUN.

FV	GL	QM	P
Híbrido	9	0,012707	0,0069
Repetição	1	0,001681	0,3973
Erro	9	0,002129	
Média		0,8003475	
CV		5,76%	

Sendo assim, a tabela 4 ilustra as medias analisadas dos valores de EUN, demonstrando que o híbrido DKB3700 foi o mais eficiente com eficiência de 0.9127, porem esse hibrido não se diferencia do DKB290 com 0,9108. Esses híbridos se diferenciam estatisticamente dos materiais MG580 e P30F53 com valores de EUN de 0.6779 e 0,6937.

Tabela 4. Média dos valores da EUN comparados entre híbridos.

Híbridos	EUN	
DKB290	0,9202	a
P30F53	0,6937	b
DAS610	0,8474	ab
P3646	0,8062	ab
MG580	0,6779	b
AS1633	0,8104	ab
DKB3700	0,9128	a
DKB320	0,8228	ab
AG8700	0,7522	ab
DKB310	0,7698	ab

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A figura 6 ilustra de maneira gráfica como os híbridos se comportam quanto a EUN, este gráfico é subdividido em quatro partes, sendo o centro de divisão desses quadrantes as médias da produtividade em alto nível de N e em baixo nível desse nutriente. Observa-se que existem diferenças em relação a EUN para os híbridos, segundo a classificação adotada de ineficiente e responsivo (IR); ineficiente e não responsivo (INR); eficiente e não responsivo (ENR) e eficiente e responsivo (ER).

Os materiais P30F53, P3646 e DAS610 são classificados como INR, já os híbridos MG580 e DKB310 são considerados IR. A classificação do DKB320 e DKB3700 segundo análise do gráfico fica como ENR e os materiais que melhor se comportaram e foram classificados com ER são o AG8700, AS1633 e DKB290 levando em consideração suas performances em relação a produtividade.

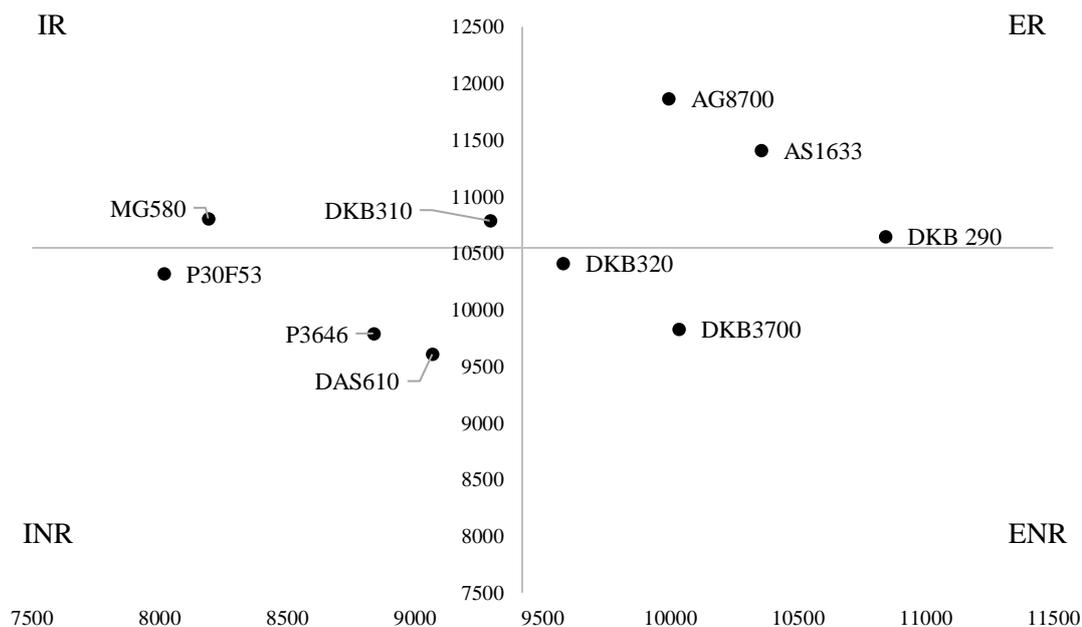


Figura 6. Performance da produtividade de grãos de 10 híbridos de milho quanto a eficiência de uso de nitrogênio, classificado em quatro classes: IR= ineficiente e responsivo; INR= ineficiente e não responsivo; ENR= eficiente e não responsivo e ER= eficiente e responsivo.

A figura 7 também ilustra de maneira gráfica como os híbridos se comportam quanto a EUN segundo o  $\alpha N$ , que assim como o gráfico anterior é subdividido em quatro partes classificando os híbridos em ineficiente e responsivo (IR); ineficiente e não responsivo (INR); eficiente e não responsivo (ENR) e eficiente e responsivo, o centro de divisão desses quadrantes são as médias da produtividade em baixo nível de N e as médias calculadas dos  $\alpha N$ .

Os materiais P3646 e DAS610 são classificados como INR, já os híbridos P30F53, MG580 e DKB310 são considerados IR. A classificação do AS1633, DKB290, DKB320 e DKB3700 segundo análise do gráfico fica como ENR e o material que melhor se comportou e foi classificado com ER é o AG8700.

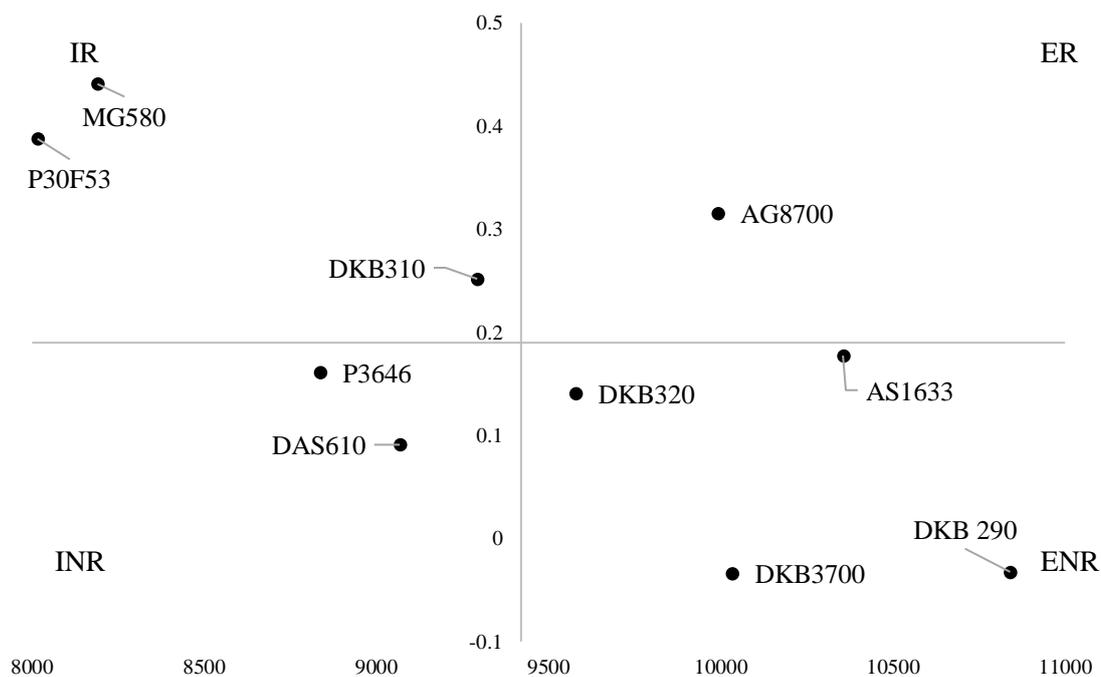


Figura 7. Performance do  $\alpha N$  10 híbridos de milho quanto a eficiência de uso de nitrogênio, classificado em quatro classes: IR= ineficiente e responsivo; INR= ineficiente e não responsivo; ENR= eficiente e não responsivo e ER= eficiente e responsivo.

As figuras 6 e 7 colaboram com as informações da tabela 4, já que demonstra os híbridos DKB3700 e DKB290 como híbridos eficientes no uso de N e os diferencia dos materiais MG580 e P30F53, que são classificados como híbridos ineficientes.

## **5. CONCLUSÃO**

Com os dados analisados do presente trabalho é possível concluir que existe diferença entre os materiais quanto a eficiência de uso N como é o caso do DKB3700 e DKB290 que se diferem dos híbridos MG580 e P30F53.

Os híbridos testados podem ser classificados entre sua responsividade e eficiência quanto ao uso de N.

Existem correlações entre EUN com a diferença entre as produtividades dos híbridos nos diferentes níveis de N, bem como índice SPAD e o índice vegetativo D678/500. Bem como índice SPAD e teor de clorofila se correlacionam.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abboud, A.C. de S. 2013.** Introdução à agronomia / Antonio Carlos de Souza Abboud (organizador). – 1. ed. – Rio de Janeiro: Interciência.
- Aguiar, C.B.N.; Coimbra, R.R.; Afférri, F.S.; Paula, M.J.; Freitas, M.K.C.; Oliveira, R.J. 2012.** Desempenho agrônômico de híbridos de milho verde em função da adubação nitrogenada de cobertura. *Revista Ciências Agrárias*, v. 55, n. 1, p. 11-16.
- Amaral Filho, J. P.R.; Fornasieri Filho, D.; Farinelli, R. 2005.** Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. *Revista Brasileira de Solo*, v. 29, p. 467- 473.
- Argenta, G.; Silva, P.R.F.; Bortolini, C.G. 2001.** Relação da leitura do clorofolômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*. v. 13, n. 2, p. 158- 167.
- Bernerdi, A.C.de C. et al. 2014.** Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília, DF. Embrapa. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/113993/1/Agricultura-de-precisao-2014.pdf>.
- Birth, G.S; Vey, G.R., 1968,** Measuring color of growing turf with a reflectance spectrophotometer. *Agronomy Journal* 60:640-649.
- Bueno, L. C.S; Mendes, A.N.G.; Carvalho, S.P. 2006.** Melhoramento Genético de Plantas: Princípios e Procedimentos. Lavras: UFLA. 319
- Brandão, Z.N.; Bezerra, M.V.C.; Freire, E.C.; Silva, B.B. 2008.** Agricultura de precisão para gerenciamento do algodão. In: *O agronegócio do algodão no Brasil*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 1309 p. cap. 20. v. 2.
- Cancellier, L.L.; Afférri, F.S.; Carvalho, E.V. de; Dotto, M.A. e Leão, F.F. 2011.** Eficiência no uso de nitrogênio e correlação fenotípica em populações tropicais de milho no Tocantins. *Revista Ciência Agrônômica*, v. 42, n. 1, p. 139-148.
- Carvalho, R.P.; Pinho, R.G.V.; Davide, L.M.C. 2012** Eficiência de cultivares de milho na absorção e uso de nitrogênio em ambiente de casa de vegetação. *Semina: Ciências Agrárias*, v.33, n.6, p.2125-2136.
- Cartelat, A.; Cerovic, Z.G.; Goulas, Y.; Meyer, S.; Lelarge, C.; Prioul, J.L; Barbottin, A.; Jeuffroy, M.H.; Gate, P.; Agati, G.; Moya, I. 2005** Optically assessed contents of leaf polyphenolics and chlorophyll as indicators of nitrogen deficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crops Research*, v.91, p.35-49.

- Coelho, A.M.; Cruz, J.L., Santos, P.H.A.D., Amaral, L.R. do. 2005.** Nitrogênio mineral no solo e índice de clorofila na folha como indicadores da necessidade de nitrogênio para o milho. 3º Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão, Sete Lagoas, MG.
- Coelho, A.M. 2007.** Manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 96.
- Conab. Companhia Nacional De Abastecimento. 2019.** Acompanhamento da safra brasileira grãos, v. 6 Safra 2018/19 - Décimo levantamento, Brasília, p. 1-50.
- Chapin, F.S. III. 1980.** The mineral nutrition of wild plants. Annual Review of Ecology and Systematics, v. 11, p. 233-260.
- Dancey, C. & John, R. 2005.** Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows. Porto Alegre, Artmed.
- Duete, R. 2009.** Acumulo de nitrogênio (15N) pelos grãos de milho em função da fonte nitrogenada em latossolo vermelho Bragantia, Campinas, v.68, n.2, p.463-472, 2009
- Durães, F.O.M.; Gama, E.E.; Magalhães, P.C.; Marriel, I.E.; Casela, C.R.; Oliveira, A.C.; Luchiari, J.R.; Shanahan, J. F. 2001.** The usefulness of chlorophyll fluorescence in screening for water, N use efficiency, Al toxicity, and disease in maize. In: Seventh Eastern and Southern Africa Regional Maize Conference 11th – 15th February, p. 356-360.
- EMBRAPA. 2009.** Manual de análise química de solos, plantas e fertilizantes. Revista ampliada 2p. 627.
- Fageria, N.K. 1998.** Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 2, p. 6-16.
- Fageria, N.D. & Kluthcouski, J. 1980.** Metodologia para avaliação de cultivares de arroz e feijão para condições adversas de solo. Brasília: Embrapa-CNPAF.
- Fancelli, A.L.; Borem, A.; Galvão, J.C.C.; Pimentel, M.A. 2015.** Ecofisiologia, fenologia e implicações básicas de manejo. Milho: do plantio à colheita. Viçosa: Ed. UFV, p-50-76.
- Fischer, K.S.; Johnson, E.C.; Edmeads, G.O. 1983.** Breeding and selection for drought resistance in tropical maize. 16 p.
- Ferreira, M.M.M.; Ferreira, G.B.; Fontes, P.C.R; Dantas, J.P. 2006.** Índice SPAD e teor de clorofila no limbo foliar do tomateiro em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica, em duas épocas de cultivo. Revista Ceres 53: 83-92.
- Florenzano, T.G. 2011.** Iniciação em Sensoriamento Remoto. 3 ed. São Paulo: Ed. Oficina de Texto. 128 p.

- Floss, E.L. & Floss, L.G. 2007.** Fertilizantes organominerais de última geração: funções fisiológicas e uso na agricultura. *Revista Plantio Direto*, Passo Fundo, v. 100, p. 26-29.
- Fontes, P.C.R.; Araújo, C. 2007.** Adubação nitrogenada de hortaliças: princípios e práticas com o tomateiro. Viçosa: UFV. 148p
- Fox, R.H. & Walthall, C.L. 2008.** Crop monitoring technologies to assess nitrogen status. In: J. S. Schepers & W. R. Raun (Eds.), *Nitrogen in agricultural systems*, agronomy monograph 49, p. 647 – 674. Madson , EUA.
- Gil, P.T.; Fontes, P.C. R.; Cecon, P.R.; Ferreira, F.A. 2002.** Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade de batata. *Horticultura Brasileira* 20: 611-615
- Gitelson, A.A.; Kaufman, Y.J.; Merzlyak, M.N. 1996.** Use of a green channel in remote sensing of global. *Remote Sensing Environment* 58: 289-298.
- Gitelson, A.A.; Verma, S.B.; Viña, A.; Rundquist, D.C.; Keydan, G.; Leavitt, B. 2003.** Novel technique for remote estimation of CO<sub>2</sub> flux in maize. *Geophysical Research Letters*, 30 (9), 1486.
- Gitelson, A.A.; Viña, A.; Ciganda, V.; Rundquist, D.C.; Arkebauer, T.J. 2005.** Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops. *Geophysical Research Letters*, 32, L08403.
- 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*, v.43, p.4488-4496.
- Gomes, R.F.; Silva, A.G.; Assis, R.L.; Pires, F.R. 2007.** Efeito de doses e época de aplicação de nitrogênio nos caracteres agrônômicos da cultura do milho sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 931-938.
- Heinz, R.; Mota, L.H.S.; Gonçalves, M.C.; Viegas Neto, A.L.; Carlesso, A. 2012.** Seleção de progênies de meio-irmãos de milho para eficiência no uso de nitrogênio. *Revista Ciência Agronômica*, v. 43, n. 4, p. 731-739.
- Hirel, B.; Bertin, P.; Quilleré, I.; Bourdoncle, W.; Attagnant, C.; Dellay, C.; Gouy, A.; Cadiou, S.; Retailiau, C.; Falque, M.; Gallais, A. 2001.** Towards a Better Understanding of the Genetic and Physiological Basis for Nitrogen Use Efficiency in Maize. *Plant Physiology*, Stanford, v. 125, pp. 1258–1270.
- Hunt, E.R.; Doraiswamy, P.C.; McMurtreya, J.E.; Daughtrya, C.S.T.; Perry, E.M.; Akhmedova, B. 2013.** A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the canopy scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 21, p 103–112.

- Jensen, J.R. 2009.** Sensoriamento remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos, SP.
- Karam, D.; Magalhães, P.C. 2014.** Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, cap. 25, p. 263-278.
- Lafitte, H.R.; Edmeades, G.O. 1994.** Improvement for tolerance to low soil nitrogen in tropical maize I. Selection criteria Field Crops Research Amsterdam, v. 39, n. 1, p. 1- 14.
- Lopes, E.C.P.; Moraes, A.; Sandini, I.E.; Kaminski, T.H.; Basi, S.; Pacentchuk, F. 2012.** Relação da leitura do clorofilômetro com teores de nitrogênio na folha de milho em sistema de integração lavoura-pecuária. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, p. 29. Anais. Aguas de Lindoia.
- Magalhães, P.C.; Durães, F.O.M. 2006.** Fisiologia da produção do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 10p. Circular Técnica n.76.
- Marengo, R.A.; Lopes, N.F. 2007.** Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. 2 ed. Viçosa: Editora UFV, p. 469.
- Meira, F.A; Buzetti, S.; Andreotti, M.; Sá, O.A.M.E; Andrade, J.A.C. 2009.** Fontes e épocas de aplicação do nitrogênio na cultura do milho irrigado. Semana Ciências Agrárias, Londrina, v. 30, n. 2, p. 275-284.
- Menezes, P.R. 2012.** Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. Brasília, DF: UnB/CnPQ. Ebook disponível em: <http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>.
- Merzlyaka, M.N.; Gitelsonb, A.A.; Chivkunova, O.B.; Rakitin, V.Y. 1999.** Non-destructive optical detection of pigment changes during leafsenescence and fruit ripening. *Physiologia Plantarum* 106: 135–141.
- Moll, R.H.; Kamprath, E.J.; Jackson, W.A. 1982.** Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal*, Madison, v.74, p.562-564.
- Moraes, E.C. 2001.** Fundamentos de Sensoriamento Remoto - Experimentos de Laboratório e Campo. In: III Escola do Espaço, 2001, São José dos Campos. III Escola do Espaço. São José dos Campos: Inpe.
- Ohland, R.A.A.; Souza, L.C.F.; Hernani, L.C.; Marchetti, M.E.; Gonçalves, M.C. 2005.** Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 29, n. 3, p. 538-544.
- Okumura, R.S.; Mariano, D.C.; Zaccheo, P.V.C. 2011.** Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*, Guarapuava-PR, v.4, n.2, p.226–244.

- Pavinato, P.S.; Ceretta, C.A.; Giroto, E.; Moreira, I.C.L. 2008.** Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.38, n.2, p.358-364.
- Peng, Y., Gitelson, A.A., Keydan, G., Rundquist, D.C., & Moses, W. 2011.** Remote estimation of gross primary production in maize and support for a new paradigm based on total crop chlorophyll content. *Remote Sensing of Environment*, 115, 978 – 989.
- Read, J.J.; Whaley, E.L.; Tarpley, L.; Reddy, R. 2003** Evaluation of a hand-held radiometer for field determination of nitrogen status in cotton. *American Society of Agronomy. Special Publication Number 66.* p. 177-195.
- Sebem, E. 2006.** Aportaciones de la teledetección en el desarrollo de um sistema metodológico para la evaluación de los efectos del cambio climático sobre la producción de las explotaciones agrarias. Tese de Doutorado em Fotogrametria, Teledetección e Ingeniería Gráfica – Universidad Politécnica de Madrid.
- Silva, E.C; Buzetti, S.; Guimarães, G.L.; Lazarini, E.; Marco Eustáquio de Sá, M. E. 2005.** Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 353-362.
- Silva Junior, M.C. 2007.** Utilização de imagens multiespectrais para detectar diferentes níveis nutricionais na forrageira *Brachiaria decumbens*. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril, INPE, p. 401-406.
- Soares, M.O.; Marriel, I.E.; Magalhães, P.C.; Guimarães, L.J.M.; Cantão, F.R.O.; Rocha, M.C.; Carvalho Júnior, G.A.; Miranda, G.V. 2009.** Discriminação de linhagens de milho quanto à utilização de nitrogênio, por meio da avaliação de características do sistema radicular. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 8, n. 1, p. 95-105.
- Soares, M.O.; Miranda, G.V.; Guimarães, L.J.M.; Marriel, I.E.; Guimarães, C.T. 2011.** Parâmetros genéticos de uma população de milho em níveis contrastantes de nitrogênio. *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, n. 1, p. 168-174.
- Souza, R.; Carvalho, M.; Silva, M.D.; Gomes, S. Guimarães, W.; Araújo, A. 2015.** Leituras de clorofila e teores de N em fases fenológicas do milho. *Colloquium Agrarum*, Teresina, v. 11, n. 1, p. 57-63.
- Sripada, R.P.; Heiniger, R.W.; White, J.G.; Meijer, A.D. Meijer, 2006,** Aerial color infrared photography for determining early-season nitrogen requirements in corn. *Agronomy Journal* 98: 968-977.
- Souza, L.V.; Miranda, G.V.; Galvão, J.C.C.; Guimarães, L.J.M.; Santos, I.C. 2009.** Combining ability of maize grain yield under different levels of environmental stress. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, n. 10, p. 1297-1303.

**Tisdale, S.L. & Nelson, W.L. 1958.** Soil Fertility and Fertilizers. The Macmillan Company. New York. 430p.

**Veloso, M.E.C.; Duarte, S.N.; Dourado Neto, D., Miranda, J.H.; Da Silva, E.C.; de Sousa, V.F. 2006.** Doses de nitrogênio na cultura do milho, em solos de várzea, sob sistema de drenagem subterrânea. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, Sete Lagoas, v. 5, n. 3, p. 382-394.

**Von Pinho, R.A. V; Borges, I.D; Pereira, J.L.A.R; Reis, M.C. 2009.** Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v. 8, p. 157-173.