

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ALINE DE CARVALHO GASPAROTTO

Obtenção de imagens digitais e espectrometria da cultura do milho e sua relação  
com produtividade em diferentes doses de nitrogênio

Maringá  
2014

ALINE DE CARVALHO GASPAROTTO

Obtenção de imagens digitais e espectrometria da cultura do milho e sua relação  
com produtividade em diferentes doses de nitrogênio

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Departamento de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Área de concentração: Solos e nutrição de plantas  
Orientador: Prof. Dr. Marcos Rafael Nanni

Maringá  
2014

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

G249o Gasparotto, Aline de Carvalho  
Obtenção de imagens digitais e espectrometria da cultura do milho e sua relação com produtividade em diferentes doses de nitrogênio / Aline de Carvalho Gasparotto. -- Maringá, 2014.  
107 f. : il., color., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Rafael Nanni.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2014.

1. Milho. 2. Nitrogênio. 3. Índices de vegetação. 4. Espectrorradiômetro. 5. Câmera fotográfica digital. I. Nanni, Marcos Rafael, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDD 21.ed. 631.44

# FOLHA DE APROVAÇÃO

ALINE DE CARVALHO GASPAROTTO

Obtenção de imagens digitais e espectrometria da cultura do milho e sua relação com produtividade em diferentes doses de nitrogênio

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Departamento de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

## COMISSÃO JULGADORA

---

Prof. Dr. Marcos Rafael Nanni

(Presidente – Orientador)

Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Departamento de Agronomia

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup> Valéria Lima

Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Departamento de Geografia

---

Prof. Dr. Osvaldo Coelho Pereira Neto

Universidade Estadual de Londrina (UEL)

Departamento de Geociências

Aprovada em: 07 de março de 2014.

Local de defesa: Anfiteatro n.II, Bloco J-45, *campus* da Universidade Estadual de Maringá.

## DEDICATÓRIA

*À Deus,  
minha família,  
meu amor,  
meus amigos,  
colegas de trabalho  
e orientador pelo apoio, força,  
incentivo, companheirismo e amizade.  
Sem eles nada disso seria possível.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Esmeralda e Ademir, a minha irmã Jaqueline e ao Gabriel, pelo amor, carinho, incentivo e paciência.

Aos colegas de trabalho, que tanto me ajudaram com ensinamentos de técnicas, programas, além das coletas de dados e elaboração do trabalho.

Aos técnicos dos laboratórios que não mediram esforços para me auxiliar nos procedimentos laboratoriais.

Ao orientador pela paciência, incentivo, idéias e sugestões.

A CAPES/Fundação Araucária pela concessão da bolsa de estudos.

Ao programa de Pós-graduação em Agronomia pela oportunidade de desenvolvimento deste trabalho.

A todos que contribuíram e possibilitaram a realização deste trabalho.

## EPÍGRAFE

*“Conserve seu medo  
Mantenha ele aceso  
Se você não teme  
Se você não ama  
Vai acabar cedo  
Esteja atento  
Ao rumo da História  
Mantenha em segredo  
Mas mantenha viva  
Sua paranóia  
Conserve seu medo  
Mas sempre ficando  
Sem medo de nada  
Porque dessa vida  
De qualquer maneira  
Não se leva nada”  
Raul Seixas*

# Obtenção de imagens digitais e espectrometria da cultura do milho e sua relação com produtividade em diferentes doses de nitrogênio

## RESUMO

O monitoramento da produção agrícola no Brasil é uma atividade complexa, devido, principalmente, a grande extensão de áreas plantadas e ao seu complicado acesso. Por isso, o desenvolvimento de técnicas que auxiliem na identificação de estresses nutricionais e componentes de produção são importantes. A utilização de dados de reflectância, obtidos por meio do espectrorradiômetro, permite estabelecer padrões de resposta espectral de culturas agrícolas, possibilitando a introdução de metodologias para levantamento e monitoramento das mesmas. Os objetivos deste trabalho foram propor vetores de índices de vegetação extraído de imagens digitais capturadas por uma câmera fotográfica digital com o uso de diferentes filtros (720nm IR, 850nm IR e UV-IR cut) comparando-se com os índices obtidos com o uso de um espectrorradiômetro; avaliar a utilização dos índices isoladamente no ajuste de modelos lineares para discriminação entre níveis de nitrogênio na cultura do milho, bem como sua relação com os componentes de produção, além de estabelecer o comportamento espectral da cultura do milho a diferentes doses de nitrogênio aplicadas durante seu desenvolvimento. Metodologicamente o experimento foi elaborado em casa de vegetação tendo-se uma planta de milho por vaso. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado com 5 tratamentos sendo as doses de nitrogênio de 0, 50, 100, 200 e 300 kg ha<sup>-1</sup>, com 10 repetições. As avaliações foram realizadas aos 15, 30, 45, 60 e 80 dias após a emergência (DAE), com a captura de imagens que cobriram a faixa do visível e infravermelho próximo (350 a 1000 nm) utilizando-se uma série de filtros em uma câmera digital Fujifilm IS PRO, além das leituras com o espectrorradiômetro. Os dados coletados foram processados com o uso do software Spring e Excel, para cálculo dos índices de vegetação GNDVI, NDVI, GNIR e RNIR. Aos 80DAE avaliou-se massa seca, massa fresca, área foliar e nitrogênio foliar. Como resultado, observou-se que o comportamento espectral do milho é alterado com diferentes doses aplicadas aos 60 e 80 DAE, principalmente na região visível do espectro, sendo que as plantas apresentaram maior reflectância com doses baixas de N. Os índices GNDVI e GNIR apresentaram maior sensibilidade para avaliação da deficiência de nitrogênio no milho. O uso da câmera fotográfica com diferentes filtros se apresentou como uma ferramenta promissora para a discriminação de nitrogênio, necessitando de melhores



estudos para a diminuição dos coeficientes de variação das amostras. Nos índices de vegetação estudados o uso do filtro de 720nm mostrou-se superior ao 850nm nas correlações com os índices do espectrorradiômetro. Todos os índices de vegetação e componentes de produção que apresentaram significância na regressão tiveram comportamento quadrático, com exceção do nitrogênio foliar que obteve comportamento linear. As melhores épocas para a discriminação das doses de nitrogênio pelos índices de vegetação avaliados foram a 60 e 80DAE, e o componente de produção que mais se correlacionou com os índices de vegetação foi a área foliar.

**Palavras-chave:** milho, nitrogênio, índices de vegetação, espectrorradiômetro, câmera fotográfica digital.

# Obtaining digital images and spectroscopy of maize and its relationship with productivity at different nitrogen rates

## ABSTRACT

The monitoring of agricultural production in Brazil is a complex activity, mainly due to the large expanse of planted areas and its difficult access. Therefore, the development of techniques that assist in the identification of nutritional stress, and yield components are important. The use of reflectance data obtained by the spectroradiometer, enables to establish patterns of spectral response of crops, enabling the introduction of methodologies for surveying and monitoring of the same. The objectives of this work were to propose vectors vegetation indices extracted from digital images captured by a digital camera using different filters ( IR 720nm , IR 850nm and UV-IR cut ) comparing with the rates obtained with the use of a spectroradiometer; evaluate the use of the indices alone in adjusting for linear discrimination between levels of nitrogen in corn models, as well as its relationship with yield components, and to establish the spectral behavior of maize to different nitrogen levels applied during its development. Methodologically the experiment was prepared in the greenhouse and it was a corn plant per pot. The design was a completely randomized design with 5 treatments with nitrogen rates of 0, 50, 100, 200 and 300 kg ha<sup>-1</sup>, with 10 repetitions . Evaluations were performed at 15, 30 , 45 , 60 and 80 days after emergence (DAE), with the capture of images that covered the range of the visible and near infrared (350-1000 nm) using a series of filters in a Fujifilm IS Pro digital camera, plus the readings with the spectroradiometer. The data collected were processed using the Spring and Excel software to calculate the vegetation indices GNDVI, NDVI, GNIR and RNIR . At 80DAE evaluated to dried mass, fresh mass, leaf area and leaf nitrogen. As a result, it was observed that the spectral reflectance is changed from corn with different doses at 60 and 80 DAE, mainly in the visible region of the spectrum, whereas plants showed a higher reflectance with low doses of N. The GNDVI and GNIR indices showed higher sensitivity for assessment of nitrogen deficiency in corn. The use of camera with different filters is presented as a promising tool for the discrimination of nitrogen, requiring further studies to decrease the coefficient of variation of the samples. The vegetation indices studied using the 720nm filter was superior to 850nm in correlations with indices spectroradiometer. All vegetation indices and yield components which were significant in the regression showed a quadratic behavior, with the exception of

leaf nitrogen that obtained linear behavior . The best seasons for discrimination of nitrogen by vegetation indices were evaluated at 60 and 80DAE, and production that over correlated with the vegetation index component was the leaf area.

**Keywords:** corn, nitrogen, vegetation indices, spectroradiometer, a digital camera.

## LISTA DE SIGLAS

AF –	Área Foliar
DAE –	Dias após a emergência
EP –	Erro padrão da média
GNDVI –	Índice de Vegetação da Diferença de Verde Normalizado
GNIR –	Razão entre o verde e o infravermelho próximo
MF –	Massa fresca
MS –	Massa seca
N –	Nitrogênio
NDVI –	Índice de Vegetação da Diferença Normalizado
NF –	Nitrogênio foliar
REM –	Radiação Eletromagnética
RNIR –	Razão entre o vermelho e o infravermelho próximo
IV's –	Índices de vegetação

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Doses de N e uréia na semeadura e cobertura para os tratamentos estabelecidos no experimento.....	12
TABELA 2	Resultado do teste F da análise de variância da regressão entre doses de nitrogênio aplicadas e valores de massa seca (MS), massa fresca (MF), área foliar (AF) e nitrogênio foliar (NF).....	23
TABELA 3	Estimativas, erro padrão da média (EP) e teste t para os coeficientes de regressão dos modelos lineares ajustados aos 80DAE entre doses de nitrogênio aplicadas e valores de massa seca (MS), área foliar (AF) e nitrogênio foliar (NF).....	24
TABELA 4	Resultado dos coeficientes de correlação de pearson e teste t aos 80DAE entre massa seca e área foliar (MS x AF), massa seca e massa fresca (MS x MF), massa seca e nitrogênio foliar (MS x NF), área foliar e massa fresca (AF x MF), área foliar e nitrogênio foliar (AF x NF) e massa fresca e nitrogênio foliar (MF x NF) nas doses de N aplicadas.....	27
TABELA 5	Resultado do teste F da análise de variância da regressão entre doses de N aplicadas e índices de vegetação para cada sensor utilizado ajustado aos 15DAE.....	37
TABELA 6	Resultado do teste F da análise de variância da regressão entre doses de N aplicadas e índices de vegetação para cada sensor utilizado ajustado aos 30DAE.....	38
TABELA 7	Resultado do teste F da análise de variância da regressão entre doses de N aplicadas e índices de vegetação para cada sensor utilizado ajustado aos 45DAE.....	39
TABELA 8	Estimativas dos parâmetros, erro padrão da média (EP) e teste t para os coeficientes de regressão dos modelos lineares ajustados aos 45DAE entre índices de vegetação e doses de N aplicadas para cada sensor utilizado.....	41
TABELA 9	Resultado do teste F da análise de variância da regressão entre doses de N aplicadas e índices de vegetação para cada sensor utilizado ajustado aos 60DAE.....	44

TABELA 10	Estimativas dos parâmetros, erro padrão da média (EP) e teste t para os coeficientes de regressão dos modelos lineares ajustados aos 60DAE entre índices de vegetação e doses de N aplicadas para cada sensor utilizado.....	45
TABELA 11	Resultado do teste F da análise de variância da regressão entre doses de N aplicadas e índices de vegetação para cada sensor utilizado ajustado aos 80DAE.....	51
TABELA 12	Estimativas dos parâmetros, erro padrão da média (EP) e teste t para os coeficientes de regressão dos modelos lineares ajustados aos 80DAE entre índices de vegetação e doses de N aplicadas para cada sensor utilizado.....	52
TABELA 13	Coefficientes de correlação de pearson e teste t entre índices de vegetação encontrados pelo uso do espectroradiômetro e pelo uso do filtro de 720nm.....	60
TABELA 14	Coefficientes de correlação de pearson e teste t entre índices de vegetação encontrados pelo uso do espectroradiômetro e pelo uso do filtro de 850nm.....	61
TABELA 15	Correlação de pearson e teste t para os índices de vegetação obtidos por meio das imagens extraídas com o uso do filtro de 720nm, a cada atributo avaliado do milho nas diferentes doses de N aplicadas.....	62
TABELA 16	Correlação de pearson e teste t para os índices de vegetação obtidos por meio das imagens extraídas com o uso do filtro de 850nm, a cada atributo avaliado do milho nas diferentes doses de N aplicadas.....	63
TABELA 17	Correlação de pearson e teste t para os índices de vegetação obtidos por meio do espectroradiômetro, a cada atributo avaliado do milho nas diferentes doses de N aplicadas.....	65

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Estádios de desenvolvimento da cultura do milho.....	3
FIGURA 2	Curva de reflectância espectral típica de uma folha verde sadia.....	8
FIGURA 3	Implantação do experimento e emergência do milho.....	11
FIGURA 4	Fieldspec 3 (1) e ASD Plant Probe (2).....	14
FIGURA 5	Leitura com ASD Plant Probe.....	14
FIGURA 6	Câmera Fujifilm IS PRO e seu esquema do sensor super CCD SR PRO.....	16
FIGURA 7	Curvas espectrais obtidas a partir da reflectância da placa padrão de spectralon com a presença dos filtros para infravermelho nos comprimentos de 720 e 850nm e para o visível UV-IR cut.....	16
FIGURA 8	Filtros utilizados, IR 720nm (1), IR 850nm (2) e UV-IR cut (3) e respectivas fotos capturadas do milho.....	17
FIGURA 9	Geometria utilizada para a captura das imagens.....	18
FIGURA 10	Imagens das lonas por meio da câmera fotográfica, sendo (A) com o filtro UV-IR cut, (B) com o filtro de 720nm e (C) com o filtro de 850nm.....	19
FIGURA 11	Dispersão e correlação das bandas Vermelha (A), Verde (B), NIR (720nm) (C) e NIR (850nm) (D) das imagens vs as bandas do espectroradiômetro.....	22
FIGURA 12	Valores de massa seca médios em função das doses de N aplicadas, (80DAE).....	25
FIGURA 13	Valores de área foliar médios em função das doses de N aplicadas, (80DAE).....	26
FIGURA 14	Valores de nitrogênio foliar médios em função das doses de N aplicadas, (80DAE).....	27
FIGURA 15	Fator de reflectância médio das folhas de milho aos 15DAE nas diferentes doses de N aplicadas.....	30
FIGURA 16	Fator de reflectância médio das folhas de milho aos 30DAE nas diferentes doses de N aplicadas.....	30
FIGURA 17	Fator de reflectância médio das folhas de milho aos 45DAE nas diferentes doses de N aplicadas.....	31

FIGURA 18	Fator de reflectância médio das folhas de milho aos 60DAE nas diferentes doses de N aplicadas.....	31
FIGURA 19	Fator de reflectância médio das folhas de milho aos 80DAE nas diferentes doses de N aplicadas.....	32
FIGURA 20	Fator de reflectância médio das folhas de milho na dose aplicada de 0 kg ha <sup>-1</sup> de N nos diferentes DAE.....	33
FIGURA 21	Fator de reflectância médio das folhas de milho na dose aplicada de 50 kg ha <sup>-1</sup> de N nos diferentes DAE.....	33
FIGURA 22	Fator de reflectância médio das folhas de milho na dose aplicada de 100 kg ha <sup>-1</sup> de N nos diferentes DAE.....	34
FIGURA 23	Fator de reflectância médio das folhas de milho na dose aplicada de 200 kg ha <sup>-1</sup> de N nos diferentes DAE.....	34
FIGURA 24	Fator de reflectância médio das folhas de milho na dose aplicada de 300 kg ha <sup>-1</sup> de N nos diferentes DAE.....	35
FIGURA 25	Valores de GNIR médios com o uso do filtro de 720nm em função das doses de N aplicadas, (45DAE).....	41
FIGURA 26	Valores de GNIR médios com o uso do filtro de 850nm em função das doses de N aplicadas, (45DAE).....	42
FIGURA 27	Valores de GNDVI médios com o uso do espectroradiômetro em função das doses de N aplicadas, (45DAE).....	43
FIGURA 28	Valores de GNIR médios com o uso do espectroradiômetro em função das doses de N aplicadas, (45DAE).....	43
FIGURA 29	Valores de GNDVI médios com o uso do filtro de 720nm em função das doses de N aplicadas, (60DAE).....	46
FIGURA 30	Valores de NDVI médios com o uso do filtro de 720nm em função das doses de N aplicadas, (60DAE).....	47
FIGURA 31	Valores de GNIR médios com o uso do filtro de 720nm em função das doses de N aplicadas, (60DAE).....	47
FIGURA 32	Valores de NDVI médios com o uso do filtro de 850nm em função das doses de N aplicadas, (60DAE).....	48
FIGURA 33	Valores de GNIR médios com o uso do filtro de 850nm em função das doses de N aplicadas, (60DAE).....	48
FIGURA 34	Valores de RNIR médios com o uso do filtro de 850nm em função das	49



	doses de nitrogênio aplicadas, (60DAE).....	
FIGURA 35	Valores de GNDVI médios com o uso do espectrorradiômetro em função das doses de N aplicadas, (60DAE).....	49
FIGURA 36	Valores de NDVI médios com o uso do espectrorradiômetro em função das doses de nitrogênio aplicadas, (60DAE).....	50
FIGURA 37	Valores de GNIR médios com o uso do espectrorradiômetro em função das doses de N aplicadas, (60DAE).....	50
FIGURA 38	Valores de GNDVI médios com o uso do filtro de 720nm em função das doses de N aplicadas, (80DAE).....	53
FIGURA 39	Valores de GNIR médios com o uso do filtro de 720nm em função das doses de N aplicadas, (80DAE).....	53
FIGURA 40	Valores de GNDVI médios com o uso do filtro de 850nm em função das doses de N aplicadas, (80DAE).....	54
FIGURA 41	Valores de NDVI médios com o uso do filtro de 850nm em função das doses de N aplicadas, (80DAE).....	54
FIGURA 42	Valores de GNIR médios com o uso do filtro de 850nm em função das doses de N aplicadas, (80DAE).....	55
FIGURA 43	Valores de RNIR médios com o uso do filtro de 850nm em função das doses de N aplicadas, (80DAE).....	55
FIGURA 44	Valores de GNDVI médios com o uso do espectrorradiômetro em função das doses de N aplicadas, (80DAE).....	56
FIGURA 45	Valores de NDVI médios com o uso do espectrorradiômetro em função das doses de N aplicadas, (80DAE).....	57
FIGURA 46	Valores de GNIR médios com o uso do espectrorradiômetro em função das doses de N aplicadas, (80DAE).....	57
FIGURA 47	Valores de RNIR médios com o uso do espectrorradiômetro em função das doses de N aplicadas, (80DAE).....	58

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>3</b>
2.1	CARACTERÍSTICAS DO MILHO.....	3
2.2	NITROGÊNIO NA CULTURA DO MILHO.....	4
2.3	SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AO MONITORAMENTO E IDENTIFICAÇÃO DO NITROGÊNIO NO MILHO.....	5
2.4	COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO.....	7
2.5	ÍNDICES DE VEGETAÇÃO.....	9
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>11</b>
3.1	IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	11
3.2	AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS.....	12
<b>3.2.1</b>	<b>Aquisição dos Dados Radiométricos</b> .....	<b>13</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Processamento dos Dados Radiométricos</b> .....	<b>14</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Aquisição dos Dados da Câmera Fotográfica Digital</b> .....	<b>15</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Processamento dos Dados da Câmera Fotográfica Digital</b> .....	<b>18</b>
<b>3.2.5</b>	<b>Estimativa de Rendimento do Milho</b> .....	<b>19</b>
3.3	ANÁLISE DE DADOS.....	19
3.3.1	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	20
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>22</b>
4.1	CALIBRAÇÃO DA CÂMERA FOTOGRÁFICA DIGITAL.....	22
4.2	AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO DO TEOR DE NITROGÊNIO FOLIAR, MASSA SECA, MASSA FRESCA E ÁREA FOLIAR COM AS DOSES DE NITROGÊNIO AOS 80DAE.....	23
4.3	COMPORTAMENTO ESPECTRAL DO MILHO NAS DIFERENTES DOSES DE NITROGÊNIO.....	28
4.4	AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE AS DOSES DE NITROGÊNIO E OS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO OBTIDOS POR MEIO DO ESPECTRORADIÔMETRO, E PELAS IMAGENS INFRAVERMELHAS OBTIDAS COM FILTRO DE 720 E 850nm.....	35
4.5	AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO DO ESPECTRORADIÔMETRO E OS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO DAS	59

	IMAGENS NO INFRAVERMELHO COM FILTRO DE 720nm E COM FILTRO DE 850nm.....	
4.6	AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO DAS IMAGENS NO INFRAVERMELHO COM FILTRO DE 720NM E DE 850NM E OS ÍNDICES DO ESPECTRORADIÔMETRO COM O TEOR DE NITROGÊNIO FOLIAR, MASSA FRESCA, MASSA SECA E ÁREA FOLIAR.....	61
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>66</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>67</b>
	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>76</b>
	APÊNDICE A.....	76
	APÊNDICE B.....	82
	APÊNDICE C.....	88
	APÊNDICE D.....	94
	APÊNDICE E.....	100
	APÊNDICE F.....	106

## 1. INTRODUÇÃO

O monitoramento da produção agrícola no Brasil é uma atividade complexa, devido, principalmente, a grande extensão de áreas plantadas e ao seu complicado acesso. Por isso, o desenvolvimento de técnicas que auxiliem na identificação de estresses nutricionais, e componentes de produção são importantes.

Dentre as denominadas “novas tecnologias” de análise e suporte a decisão de ações na agricultura, destaca-se o sensoriamento remoto. Esta tecnologia tem sido utilizada, nos últimos anos, para estudos sobre o meio ambiente e fortemente orientada à agricultura, tanto para estudo de solos como para o comportamento das culturas agrícolas.

No caso das culturas agrícolas, tem se utilizado a tecnologia para estabelecimento e acompanhamento de seu estado nutricional, estande cultural, produtividade e produção, dentre outros.

Dentre os fatores de produção das culturas existentes, observa-se a falta de critérios para se obter dados da necessidade da adubação nitrogenada por meio de análises do solo, devido a falta de equilíbrio estável das formas de N, além do baixo efeito residual do nitrato do solo. Com isso, pesquisadores têm estudado o uso da reflectância espectral do dossel das culturas para detectar a deficiência de N utilizando dados de sensoriamento remoto (HAN et al., 2001; SCHLEICHER et al., 2001).

A aplicação da reflectância para fins agrícolas teve início nos anos 70, quando espectrômetros de infravermelho foram usados para mensurar a clorofila em folhas de plantas (LUKINA et al., 1997).

O uso da reflectância apresenta alguns problemas, principalmente nos estádios iniciais de desenvolvimento, pois existe a influência do solo na reflectância do dossel da cultura. Dessa forma, os dados de reflectância foram transformados em vários índices de vegetação que foram desenvolvidos com o objetivo de reduzir vários fatores de variação, como a arquitetura do dossel e a geometria de iluminação e de visada minimizando assim essas influências (HUETE, 1988; RONDEAUX et al., 1996).

Os índices de vegetação são extensamente utilizados na área de sensoriamento remoto, pois eles reduzem a diferença de brilho em materiais idênticos, causados por diferenças na topografia do terreno, sombras ou mudanças sazonais no ângulo e intensidade da iluminação solar. Além disso, destacam as características de interesse e reduzem o número

de bandas necessárias à interpretação, tendo uma informação mais concentrada (JENSEN, 1996).

Diversos pesquisadores concluíram que os índices de vegetação (IV's) apresentam correlação com os níveis de N e com a produtividade (STONE et al., 1996; BLACKMER et al., 1996; BAUSCH & DUKE, 1996; GOPALAPILLAI et al., 1998; SÉRÉLÉ et al., 2000; SCHARF & LORY, 2000; DIKER et al., 2001; HAN et al., 2001).

A obtenção dos denominados IV's tem sido realizada pelo uso de imagens digitais de sensores a bordo de plataformas orbitais, suborbitais e terrestres. Dentre os sensores terrestres destacam-se os espectrômetros e espectroradiômetros, que não geram imagens, mas registram a reflectância refletida e/ou absorvida dos alvos.

Atualmente, sensores ativos dotados de células fotoelétricas vem sendo utilizados para a obtenção de IV's dispostos em estruturas metálicas transportadas por veículos, tratores ou manualmente. No entanto, todos esses equipamentos apresentam elevado custo, treinamento especializado e nem sempre há possibilidade de uso em áreas onde o acesso é limitante. Desta forma, buscaram-se alternativas mais econômicas, de fácil manuseio e que possam acessar diferentes áreas de plantio. Uma das alternativas tem sido o uso de fotografias aéreas acopladas em pequenas plataformas denominadas VANT (veículo aéreo não tripulado).

Existem no mercado máquinas fotográficas digitais que podem apresentar sistemas de captura de imagens na faixa do visível e infravermelho próximo (350 a 1100 nm). No entanto não há pesquisas sobre a eficiência destes sistemas imageadores quanto ao seu uso na avaliação do estado nutricional das culturas.

Neste contexto, o objetivo geral deste trabalho foi comparar a espectroradiometria com as imagens digitais para discriminação de doses de nitrogênio no milho. Os objetivos específicos foram: a) propor vetores lineares de índices de vegetação extraído de imagens obtidas por câmeras fotográficas digitais convencionais e de espectroradiômetro; b) avaliar a utilização dos índices isoladamente no ajuste de modelos lineares para estimar estresse nutricional de N na cultura do milho. c) avaliar os índices e sua relação com os componentes de produção do milho, além de estabelecer o comportamento espectral da cultura do milho a diferentes doses de N aplicadas durante seu desenvolvimento.

A hipótese apresentada é que instrumentos fotográficos de baixo custo e de fácil acessibilidade podem ser utilizados na obtenção de índices de vegetação para discriminação de doses de N na cultura do milho, substituindo sensores sofisticados como o espectroradiômetro.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. CARACTERÍSTICAS DO MILHO

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta de origem mesoamericana que pertence a família Poaceae, necessita de grandes quantidades de água para o seu desenvolvimento chegando a consumir, durante o seu ciclo, cerca de 600mm. As regiões mais propícias para o seu cultivo apresentam precipitações anuais variando de 300 a 5000mm (ALDRICH et al., 1982). O milho é um cereal cultivado em grande parte do mundo, sendo de grande interesse principalmente devido as suas qualidades nutricionais. É conhecido em cultivo e devido a sua extensa domesticação, na sua forma atual apresenta grande resposta a tecnologias e não apresenta indicativos de que poderia subsistir sem os cuidados do homem (MAGALHÃES et al., 2002).

O desenvolvimento do milho, assim como o de todas as outras plantas, apresenta um padrão específico, mas variações podem ocorrer devido a data de plantio, local de desenvolvimento, genótipo da cultivar, clima, entre outros fatores. Essas variações ocorrem principalmente no tempo de duração entre os estádios fenológicos e no número total de folhas. (Figura 1).

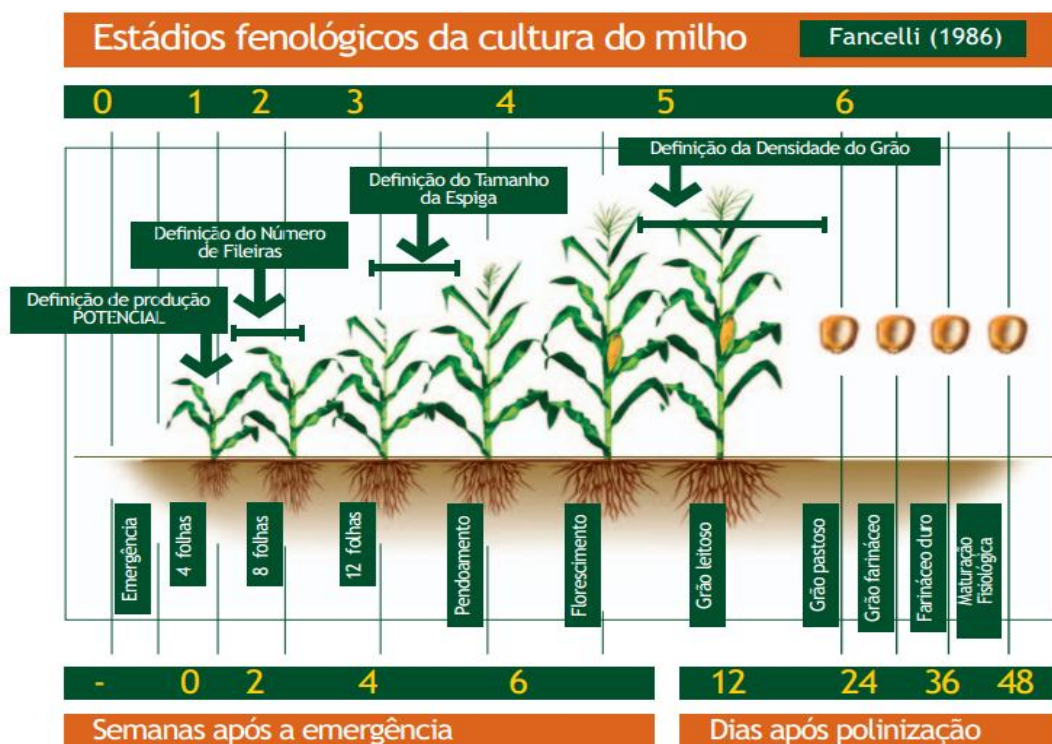


FIGURA 1 – Estádios de desenvolvimento da cultura do milho.

Fonte: FANCELLI, 1986.

O desenvolvimento do milho apresenta 5 etapas:

(1) Germinação e emergência: fase compreendida entre a semeadura e o aparecimento da plântula, cujo período varia entre 4 e 12 dias, em consequência da temperatura e umidade do solo;

(2) Crescimento vegetativo: iniciado a partir da emissão da segunda folha até o início do florescimento, cuja extensão varia em decorrência do genótipo e de fatores climáticos, caracterizando e classificando diferentes genótipos entre ciclos superprecoces, precoces e normais;

(3) Florescimento: estabelecido entre o início da polinização e o da frutificação;

(4) Frutificação: compreendida entre a fecundação e o enchimento completo dos grãos, cuja duração varia entre 40 e 60 dias;

(5) Maturidade: período compreendido entre o fim da frutificação e o aparecimento da camada negra, sendo esse relativamente curto e indicativo do fim do ciclo de vida da planta. (FANCELLI & DOURADO NETO, 2000).

## 2.2. NITROGÊNIO NA CULTURA DO MILHO

O nitrogênio (N) é um elemento essencial para o desenvolvimento das plantas, além de ser requerido em grandes quantidades. Dessa forma, excessivos aportes são realizadas no solo com esse nutriente em diversas formas, mas sabe-se que o N na forma de nitrato é facilmente solúvel em água e não é adsorvido pelos colóides do solo devido a sua carga negativa, podendo ser lixiviado para os mananciais de água, sendo considerado como poluente.

Devido a essas grandes quantidades de N aplicadas ao solo, surge a necessidade de se realizar monitoramento regular da concentração de nitrato nos mananciais de água (DIAS et al., 2006).

As várias cultivares de milho existentes, quando bem selecionada ao clima da região apresentam alta produtividade e necessitam de grandes quantidades de N no solo. No entanto, os solos tropicais não possuem esse elemento em quantidade suficiente para o suprimento das plantas, sendo necessária à adição de N por adubação mineral ou incorporação de leguminosas ao solo (CERETTA et al., 1994; TEIXEIRA et al., 1994; AMADO & MIELNICZUK, 2000).

No final do século vinte, na Região Sul do Brasil, começaram a considerar a quantidade de matéria orgânica presente no solo, os dados provenientes da cultura anterior, além da expectativa de produção, para se realizar a recomendação de adubação nitrogenada para o milho, tendo dessa forma, melhora significativa para a eficiência desse nutriente no solo (AMADO et al., 2002).

A recomendação de N ainda apresenta grande potencial de estudos e inclusões de diversas outras características, como solo e plantas indicadoras de disponibilidade, sendo de suma importância para os sistemas agrícolas que utilizam esse nutriente em grandes quantidades (MA et al., 2007; SCHARF & LORY, 2009; RAMBO et al., 2010). Um indicador ideal, além de detectar ou prever as deficiências e excessos de N no sistema solo-planta (SCHRÖDER et al., 2000), deve apresentar alta repetibilidade, facilidade de manuseio e rapidez de análise (RAMBO et al., 2010).

Segundo Wood et al. (1993), melhores técnicas devem ser desenvolvidas para administrar o N, pois existe grande aumento de quantidades de nitrato no solo, que acontece principalmente devido as altas concentrações de N aplicadas nos sistemas agrícolas tecnificados de produção de milho, mas o excesso de N que a planta não consome pode lixiviar e atingir o lençol freático, contribuindo para a eutrofização de lagos e fluxos de água.

Os períodos em que o milho absorve maiores quantidades de nitrogênio são durante a fase de desenvolvimento vegetativo e formação da espiga, e os períodos em que absorve menores quantidades são entre a emissão do pendão e o início da formação da espiga (OLNESS & BENOIT, 1992), tendo acúmulo de 77% de N por ocasião do aparecimento da inflorescência feminina, segundo Karlen et al. (1987).

### 2.3. SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AO MONITORAMENTO E IDENTIFICAÇÃO DO NITROGÊNIO NO MILHO

O nitrogênio é um elemento essencial para o crescimento, desenvolvimento e produtividade e muitas vezes é um nutriente limitante em solos agrícolas. O N na planta é integrante de inúmeras moléculas orgânicas, como a clorofila que é um pigmento receptor da energia luminosa incidente, utilizada como propulsor da fotossíntese. Dessa forma, o suprimento insuficiente de N reduz o índice de área foliar (FERNANDEZ et al, 1996;. VAN DELDEN, 2001), a fotossíntese (CIOMPI et al, 1996;. LU et al., 2001), o desenvolvimento e produção de biomassa (DEV & BHARDWAJ, 1995), resultando num baixo rendimento.



Existem diversas formas para se expressar o potencial produtivo de uma cultura; as mais precisas são quantidade de matéria seca por planta, teor de nitrogênio foliar e quantidade de clorofila nas folhas; mas esses dados são adquiridos por amostragem no campo ou por análises laboratoriais, as quais necessitam de grande quantidade de tempo para determinação e ainda com alto custo.

O status nutricional da cultura e, por consequência, seu potencial produtivo podem ser estimados por técnicas de sensoriamento remoto, pois as ondas eletromagnéticas que incidem as plantas apresentam reflectância, sendo esta caracterizada como resposta espectral da cultura ou do dossel, podendo ser utilizada para a recomendação de adubação nitrogenada. Os resultados de reflectância da cultura podem ser obtidos por sensores remotos classificados como ativos ou passivos, este quando necessita de fonte externa de energia e aquele quando possui sua própria fonte de energia.

O status de N na planta apresenta boa correlação com a concentração de clorofila no tecido foliar. A variação da clorofila faz com que a reflectância da região visível do espectro eletromagnético (300-700 nm) também apresente variações, as quais podem ser utilizadas para a avaliação do teor de nitrogênio na cultura (READ et al., 2003; BRANDÃO, 2009; BRONSON et al., 2011).

Os índices de vegetação são modelos matemáticos desenvolvidos para avaliar a cobertura vegetal e relacionam a assinatura espectral e os parâmetros mensuráveis no campo tanto quantitativamente quanto qualitativamente (BARBOSA, 2006).

Os índices de vegetação podem ser utilizados para estimativa do estado nutricional da cultura, mas eles apresentam algumas interferências de solo e atmosfera, por isso, esses índices estão em constante melhoria. Para escolher o melhor índice a ser utilizado deve-se avaliar a sensibilidade deles a variáveis bioquímicas e biofísicas da cultura. Essa avaliação acontece pela reflectância espectral e está sendo muito pesquisada para ser utilizada no gerenciamento de grandes áreas (ZARCO-TEJADA & SEPULCRE-CANTÓ, 2007; ZHAO et al., 2007; BRANDÃO, 2009).

Bausch & Duke (1996) mostraram que o uso do radiômetro para medir a reflectância do milho na faixa verde e infravermelho próximo, pode ser utilizada para prever a quantidade de N pela planta, pois essas faixas do espectro são sensíveis as diferenças de doses de N utilizadas no milho (SCHARF & LORY, 2002). Blackmer et al. (1996) concluíram que, a melhor faixa do espectro (400 a 1000 nm) para ser utilizada a fim de detectar a deficiência de N no milho encontra-se entre 550 e 710nm.

A variabilidade da produtividade de milho e o monitoramento espaço temporal, podem ser preditos e realizados por fotografias aéreas. Segundo Diker et al. (2001) o índice de vegetação NDVI, obtido por meio de fotografias falsa-cor com filme infravermelho Kodak de, apresentou um  $R^2$  de 0,8 com a produtividade do milho no estádio R5.

Segundo Gopalapillai et al. (1998), a reflectância do dossel da cultura de milho, por meio de fotografias áreas de alta resolução no infravermelho, apresentou boa correlação com o estado nutricional do elemento N no dossel aos 75 dias após a semeadura; o uso da faixa vermelha do espectro pôde ser utilizada para predizer a produtividade do milho com um coeficiente de determinação de 0,96.

Um coeficiente de determinação de 0,94 foi encontrado no milho no estádio V6, entre a quantidade de clorofila presente no milho e o índice de vegetação NIR/verde (TUMBO et al., 2002).

Varella et al. (2003) conseguiram diferenciar níveis de N no milho; o estudo foi realizado com fotos na banda vermelho, verde, azul e infravermelho-próximo capturadas por meio de uma câmera digital situada a 50cm de distância da planta. Essas imagens foram utilizadas para o cálculo dos índices de vegetação, e realizou-se uma análise de regressão linear múltipla para avaliar a predição dos níveis de N.

#### 2.4. COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO

Cada objeto apresenta uma estrutura molecular e atômica, na qual os elétrons estão distribuídos ao redor dos núcleos dos átomos em diferentes níveis energéticos que podem absorver diferentes quantidades de REM, quanto maior absorção pelo objeto menor a energia refletida pelo mesmo. Os locais em que a absorção de energia acontece são chamados de bandas de absorção. Esse fenômeno de interação entre objetos e REM incidente é chamado de comportamento espectral (FIGUEIREDO, 2005).

Cada objeto apresenta uma própria assinatura espectral, devido as composições físico-químicas dos objetos que fazem com que a radiação solar incidente interaja de diferentes formas.

O comportamento espectral da vegetação apresenta duas bandas de absorção de REM na faixa visível do espectro (Figura 2), sendo que a primeira banda fica situada próximo ao 0,48  $\mu\text{m}$  devido a presença de pigmentos carotenóides, e a segunda banda fica a 0,68  $\mu\text{m}$  devido ao processo de fotossíntese da vegetação. Essas duas bandas são formadas por um pico

de absorção devido aos pigmentos do grupo clorofila. Ainda na faixa visível a vegetação apresenta elevada reflectância situada em torno de 0,5  $\mu\text{m}$ , local que se corresponde com a cor verde do espectro visível, dessa forma, tem-se a coloração verde das folhas.

A vegetação também apresenta uma região de alta reflectância de 0,7  $\mu\text{m}$  a 1,3  $\mu\text{m}$ , sendo que esses comprimentos de ondas estão associados a estrutura interna da folha. Essa grande diferença de absorção e reflectância nos diferentes comprimentos de onda acontece para manter o equilíbrio energético no interior da planta evitando o superaquecimento e por consequência a destruição de clorofila. (RSI, 2003).

Na região infravermelho do espectro (em torno de 1,4  $\mu\text{m}$  e 1,9  $\mu\text{m}$ ) a vegetação apresenta mais dois picos de absorção devido a presença de água na folha. Todo o comportamento espectral assim explicado trata-se de uma folha isolada, portanto, não são muito precisas para uma cobertura vegetal, mas fundamentais para o estudo da vegetação.

As diferenças das reflectâncias da cobertura vegetal e da folha isolada são devido a diversos fatores como solo, ângulo de iluminação, e orientação das folhas, bem como condições atmosféricas, características das parcelas de solo, índice de área foliar, estado fenológico, biomassa, folha (forma, posição, conteúdo de água, pigmentação, estrutura interna, etc.) e geometria (de iluminação, de imageamento, sol / superfície / satélite). (RSI, 2003).

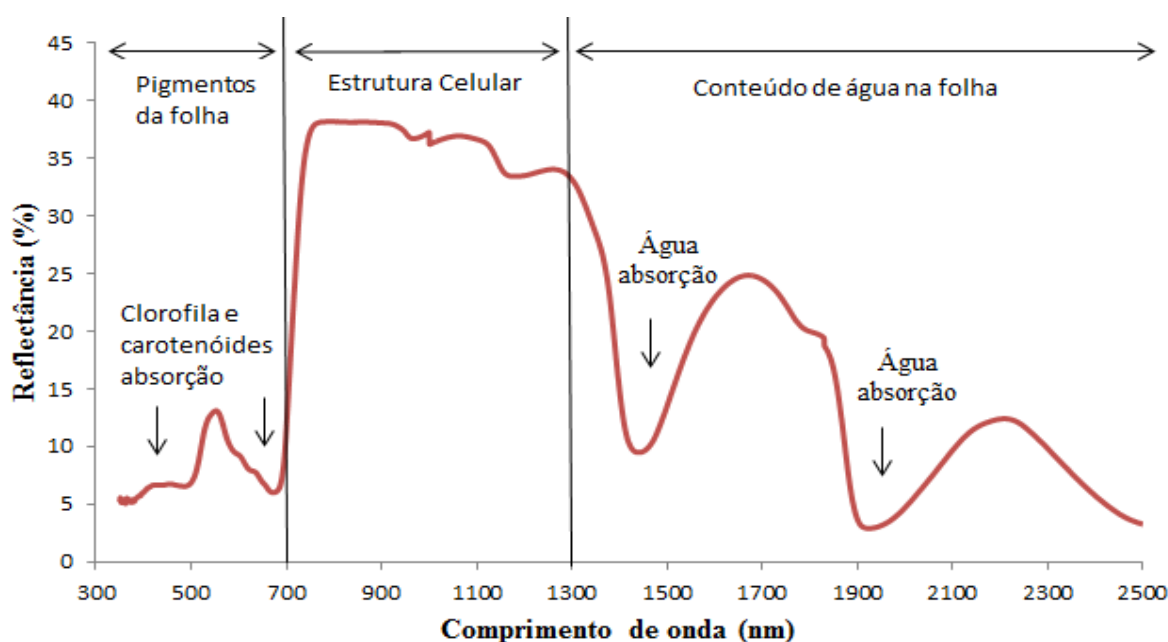


FIGURA 2 – Curva de reflectância espectral típica de uma folha verde sadia.

Fonte do autor - Adaptado de Novo, 2010.

## 2.5. ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Os índices de vegetação foram criados a fim de destacar o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e a outros objetos na superfície terrestre. Esses índices são obtidos por várias combinações matemáticas das reflectâncias em várias faixas espectrais da REM. Essas reflectâncias são medidas por diversos aparelhos como radiômetros e espectroradiômetros (MOREIRA, 2005).

Segundo Pinter Jr. et al. (1985), ao invés de se utilizar os dados espectrais de cada banda do sensor, a forma mais indicada para o estudo do comportamento espectral de alvos agrícolas, é com uso de índices de vegetação, pois eles são formas de se minimizar os erros introduzidos nas estimativas da radiância pela resposta lambertiana dos alvos agrícolas.

Os índices de vegetação são utilizados no monitoramento de áreas vegetadas, na determinação e estimativa do índice de área foliar, biomassa e da radiação fotossinteticamente ativa, sendo os mais aplicados aqueles que combinam radiância na região visível do espectro principalmente a faixa vermelha, e a radiância no infravermelho.

Esses índices, além de simples, são muito eficientes, pois diminuem as variações na irradiância solar e os efeitos do solo, além de ressaltar o sinal verde (JACKSON & HUETE, 1991). Segundo Ponzoni (2001), a radiância no vermelho apresenta uma relação inversa não linear com a biomassa verde, enquanto que a radiância no infravermelho próximo, exibe uma relação direta não-linear. Na região do visível, as absorções acontecem devido os pigmentos fotossintetizantes e na região do infravermelho próximo, a radiância refletida apresenta variações devido a quantidade de folhas, arranjo e distribuição espacial do dossel.

Segundo Wang et. al (2003), as variações ocasionadas por diferenças na radiação solar, efeitos atmosféricos, contribuição do substrato e da vegetação não fotossinteticamente ativa, bem como os efeitos de composição e estrutura do dossel, podem ser minimizados pelo uso de duas ou mais bandas espectrais, gerando um índice.

O índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) é o mais utilizado devido a sua simplicidade e sua relativa alta sensibilidade à densidade da cobertura vegetal, tornando possíveis as comparações espaciais e temporais da atividade fotossintética terrestre, bem como o monitoramento de variações dos parâmetros estruturais, fenológicos e biofísicos da vegetação em escala global e local.

Na literatura muitos índices de vegetação são citados; porém, os que apresentam maiores destaques são o NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizado) proposto por

Rouse et al. (1974), o GNDVI (Índice de Vegetação da Diferença de Verde Normalizado) proposto por Gitelson et al.,(1996) e o SAVI (Índice de Vegetação Ajustador do Solo) proposto por Huete (1988).

Nos vegetais as deficiências nutricionais podem ser detectadas pela reflectância e pelo índice NDVI (PONZONI, 2001; SILVA JÚNIOR, 2007). As deficiências nutricionais nas plantas podem alterar sua cor, umidade, estrutura interna devido a influência na fisiologia da planta, proporcionando alterações na reflectância. A detecção destas deficiências, nos espectros de reflectância, apresentou alto potencial para o manejo da adubação nitrogenada das culturas de trigo, triticale e cevada e baixo potencial para a cultura do milho, conforme verificado por Povh et al. (2008).

O índice de vegetação proposto por Gitelson et al. (1996) foi utilizado no trigo por Hinzman et al. (1986) os quais conseguiram determinar a status de clorofila, tendo alta correlação com o status de N. Shanahan et al. (2001) mostraram que o GNDVI apresenta maior correlação com o rendimento de grãos de milho.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi instalado na casa de vegetação do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá (UEM). O processamento e a análise de dados foram realizadas no Grupo Aplicado ao Levantamento e Especialização dos Solos (GALES) também da UEM.

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) com 5 tratamentos (0, 50, 100, 200 e 300 kg ha<sup>-1</sup> de N) e 10 repetições, sendo cada parcela constituída por um vaso com capacidade de 10 litros com uma planta de milho. (Figura 3).

Para a aplicação dos tratamentos foram utilizadas, na semeadura, para todos os vasos a dosagem de 30 kg ha<sup>-1</sup> de N, com exceção dos vasos do tratamento 1, e o restante da dose foi aplicada aos 20 dias após a emergência (DAE), sendo que as dosagens em cobertura superiores a 100 kg ha<sup>-1</sup> foram parceladas, sendo 50% aos 20 DAE e ou outros 50% aplicados a 27 DAE (Tabela 1). A fonte utilizada para esta adubação foi uréia (45% de N) diluída em água a fim de diminuir perdas por volatilização.



FIGURA 3 - Implantação do experimento e emergência do milho.

TABELA 1 – Doses de N e uréia na semeadura e cobertura para os tratamentos estabelecidos no experimento.

Tratamentos	Total	Semeadura		Cobertura	
	Dose de N kg.ha <sup>-1</sup>	Dose de uréia g.vaso <sup>-1</sup>	Dose de N kg.ha <sup>-1</sup>	Dose de uréia g.vaso <sup>-1</sup>	
T1	0	0	0,00	0	0,00
T2	50	30	0,33	20	0,22
T3	100	30	0,33	70	0,78
T4	200	30	0,33	170	1,88
T5	300	30	0,33	270	3,00

O solo utilizado nos vasos do experimento foi encaminhado para análises física e química no Laboratório de Solos e Plantas da Universidade Estadual de Maringá, sendo retirado do Horizonte B de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico textura média.

O solo utilizado como substrato apresentou baixa disponibilidade de fósforo e baixa disponibilidade de potássio. Dessa forma, o mesmo foi corrigido de acordo com a necessidade de adubação, conforme recomendação de Alves et al.(1999), sendo de 90 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Para tanto, foi adicionado em cada vaso 0,75 g de cloreto de potássio (KCl - 60%) e 3,33 g de super fosfato simples (18% - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

A saturação por bases (V%) foi elevada a 60%, tendo a necessidade de calagem de 4,64 ton ha<sup>-1</sup>, ou seja, 23,2 g de calcário calcítico por vaso.

A semeadura ocorreu no dia 13/09/2013 com 5 sementes por vaso e realizada na profundidade de 3 cm, sendo desbastada no estágio de desenvolvimento V2 deixando apenas uma planta por vaso, sendo esta a mais sadia.

O milho escolhido para a semeadura foi a cultivar 30A68 da Morgan com gene Hx (Herculex), sendo um híbrido simples superprecoce com ciclo variando de 108 a 133 dias e com finalidade para grãos.

A emergência do milho ocorreu no dia 17/09/2013 e o controle fitossanitário foi realizado conforme as recomendações para o milho na região (VIANA et al., 2004).

### 3.2. AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS

A aquisição dos dados foi realizada por dois sensores remotos: um passivo (câmera fotográfica digital) e um ativo (espectroradiômetro).

O espectroradiômetro com o acessório ASD Plant Probe tem como vantagem operar numa ampla faixa do espectro eletromagnético, que se estende do visível ao infravermelho

próximo (350 – 2500nm), além de serem capazes de operar durante o dia e a noite, devido a sua própria fonte de luz. Já a câmera fotográfica atua em uma pequena faixa do espectro eletromagnético (380 – 1000nm) e necessita de uma fonte de luz, mas apresenta um custo mais baixo.

Dessa forma, a aquisição e processamento de dados foram separadas para cada método utilizado, a fim de esclarecer melhor a metodologia adotada.

### **3.2.1. Aquisição dos Dados Radiométricos**

As leituras radiométricas foram realizadas por meio do espectrorradiômetro portátil Fieldspec 3 Jr, sendo utilizado o acessório ASD Plant Probe para a realização das leituras na casa de vegetação (Figura 4). Esse espectrorradiômetro apresenta resolução espectral de 3 nm na faixa espectral de 350 nm a 700 nm e de 30 nm na faixa de 1400 nm a 2100 nm. As leituras foram realizadas periodicamente sendo estabelecidas aos 15, 30, 45, 60 e 80 DAE, (02/out, 17/out, 01/nov, 16/nov e 06/dez respectivamente) sendo o término das avaliações no aparecimento da inflorescência feminina do milho, época em que o acúmulo de N chega aos 77% do ciclo.

As leituras foram realizadas, durante os estádios vegetativos, na última folha expandida, cuja aurícula estava visível.

Uma placa de spectralon (Labersfere, Inc.) foi usada para otimizar o instrumento para leitura em fator de reflectância, podendo variar de 0 a 100% em todas as faixas de espectro eletromagnético medidas. Ao medir a reflectância foliar, as folhas individuais foram colocadas do lado adaxial em cima de um fundo de poliuretano preto. As medições foram realizadas com iluminação não colimada do próprio acessório (ASD Plant Probe) (Figura 5).

A faixa espectral de coleta dos dados foi de 350nm a 2500nm, que foram armazenados em micro computador portátil. Os dados foram convertidos de extensão .asd para .txt pelo programa View Spec Pro da ASD (ASD, 2008).



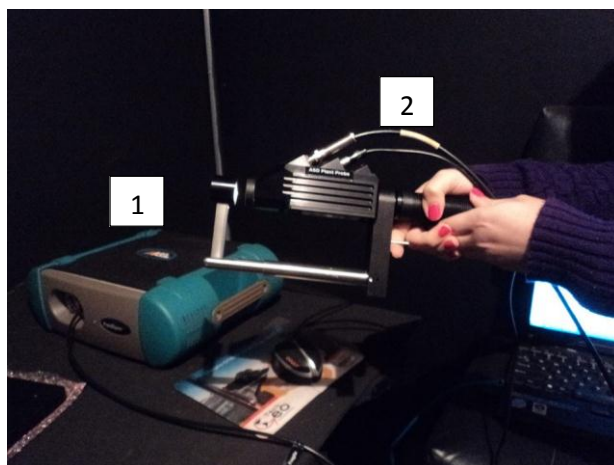


FIGURA 4 – FieldSpec 3 (1) e ASD Plant Probe (2).



FIGURA 5 – Leitura com ASD Plant Probe.

### **3.2.2. Processamento dos Dados Radiométricos**

Segundo Moreira (2005) não existe um limite rígido entre as bandas do espectro eletromagnético. Os limites apresentados na literatura são apenas teóricos. Assim, para o presente trabalho, foram utilizados os valores de reflectância médio das seguintes bandas, com base nas faixas espectrais.

Banda Verde (500-578nm).

Banda Vermelho (620-720nm).

Banda Infravermelho próximo (NIR) (720-1000nm).

Estes valores foram utilizados para a determinação dos índices de vegetação, NDVI (ROUSE et al., 1974), GNDVI (GITELSON et al., 1996), RNIR (RICHARDSON & WIEGAND, 1977), GNIR (BAUSCH & DUKE, 1996), conforme as equações 1, 2, 3 e 4.

$$(1) \quad NDVI = \frac{NIR - Vm}{NIR + Vm}$$

no qual,

NDVI= Índice de vegetação da diferença normalizado

NIR= Valor médio de reflectância da banda infravermelho próximo

Vm= Valor médio de reflectância da banda Vermelho

$$(2) \quad GNDVI = \frac{NIR - Vd}{NIR + Vd}$$

no qual,

GNDVI= Índice de vegetação da diferença de verde normalizado

NIR= Valor médio de reflectância da banda infravermelho próximo

Vd= Valor médio de reflectância da banda verde

$$(3) \quad RNIR = \frac{Vm}{NIR}$$

no qual,

RNIR= Razão entre o vermelho e o infravermelho próximo.

NIR= Valor médio de reflectância da banda infravermelho próximo;

Vm= Valor médio de reflectância da banda vermelho;

$$(4) \quad GNIR = \frac{Vd}{NIR}$$

no qual,

GNIR= Razão entre o verde e o infravermelho próximo

NIR= Valor médio de reflectância da banda infravermelho próximo

Vd= Valor médio de reflectância da banda verde

### 3.2.3. Aquisição dos Dados com a Câmera Fotográfica Digital

Para a aquisição dos dados com a câmera fotográfica utilizou-se a câmera Fujifilm IS Pro 5 UVIR (12.1 megapixels) que não apresenta filtro interno que bloqueia a luz infravermelha. Apresenta um sensor Super CCD SR PRO (16 bits) (Figura 6) com sensibilidade para captar a luz da radiação ultravioleta (UV) ao infravermelho (IV) do espectro (380nm - 1000nm) - uma gama muito maior de comprimentos de onda que normalmente são capturadas por câmeras digitais convencionais. No sensor super CCD SR PRO os pixels "S" possuem sensibilidade normal e captam a mesma gama de luz como um photosite CCD convencional, os pixels "R" são menores e apresentam uma menor

sensibilidade sendo projetado para capturar detalhes acima do ponto de saturação do pixel “S” . As informações do “S” e “R” pixels são combinadas para produzir uma gama dinâmica alargada e evitar a perda de detalhes devido ao excesso de exposição (JOINSON et al., 2007).



FIGURA 6 – Câmera Fujifilm IS PRO e seu esquema do sensor super CCD SR PRO.

Fonte: JOINSON, et al., 2007.

Para a aquisição das imagens em infravermelho um filtro de interferência que bloqueia a luz visível e transmite NIR foi instalado na frente da objetiva. Foram utilizados dois filtros de 720nm e 850nm que permitiram o registro de imagens a partir da reflectância dos alvos numa faixa espectral acima de 720 nm.

Para verificar a eficiência dos filtros, foi realizada a leitura espectral da placa de espectralon por meio do espectrorradiômetro com os filtros utilizados. O espectro dos dois filtros pode ser visualizado pela Figura 7.

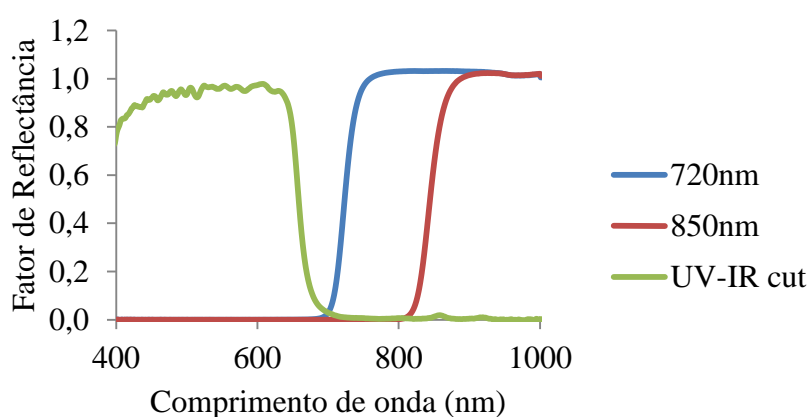


FIGURA 7 – Curvas espectrais obtidas a partir da reflectância da placa padrão de espectralon com a presença dos filtros para infravermelho nos comprimentos de 720 e 850 nm e para o visível UV-IR cut.

Para capturar fotos com filtros infravermelho fez-se necessário estabelecer um balanço de branco (WB) personalizado e pré-definido para cada filtro. Para capturar as bandas vermelha e verde na luz visível, que são necessárias para o cálculo dos índices de vegetação, foram capturadas fotos na luz visível com filtro UV-IR cut (Figura 7) que permite a obtenção e registro de imagens somente na faixa da luz visível, impedindo o registro de dados nos comprimentos de onda menores que 350nm e maiores que 700 nm, juntamente com balanço de branco personalizado.

Para todas as imagens registradas pela câmera, utilizou-se o índice de sensibilidade ISO100 que garante menos ruído na imagem (MONTANARI, 2011).

O registro fotográfico foi realizado com os três filtros: IR 720nm, IR 850nm e UV-IR cut (Figura 8), nos 15, 30, 45, 60 e 80 DAE (02/out, 17/out, 01/nov, 16/nov e 06/dez, respectivamente). Para tanto, utilizou-se um tripé para fixação da câmera e as fotos foram capturadas a uma distância de 30 cm da folha com uma inclinação de 45° (Figura 9) que foram escolhidas e adaptadas com base em Souza et al.(2009) e Crimmins et al. (2008).

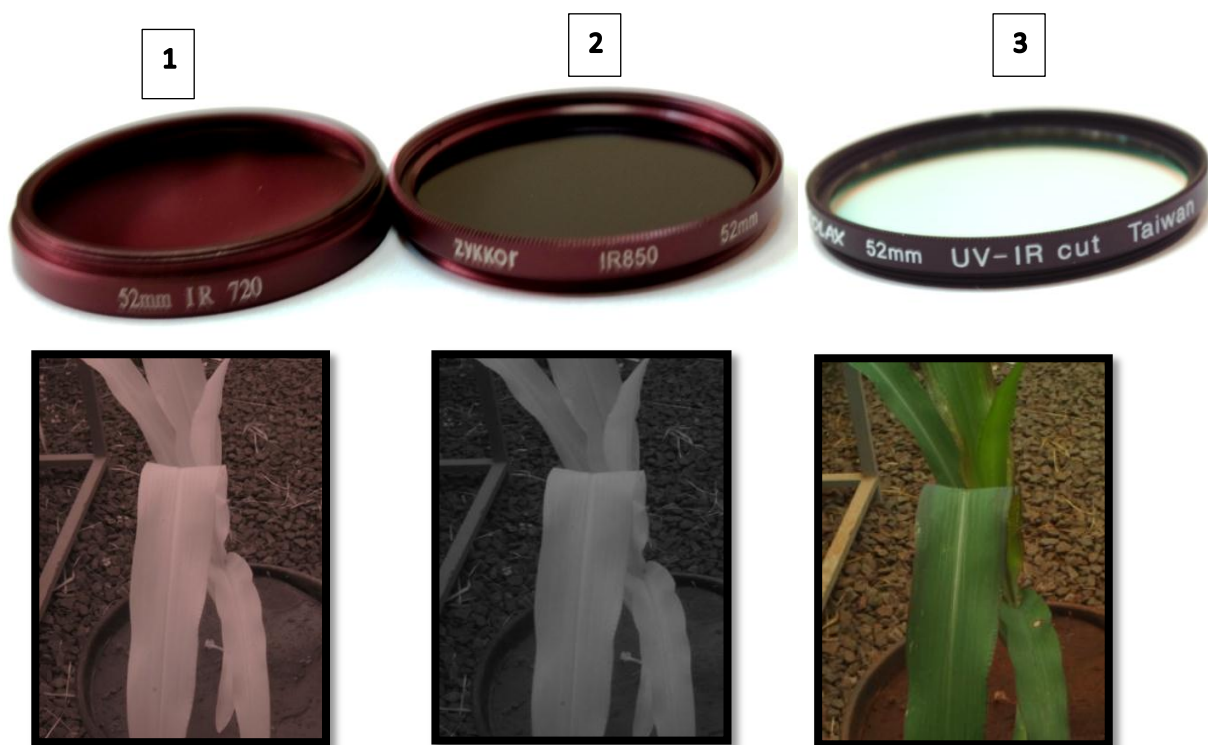


FIGURA 8 – Filtros utilizados, IR 720nm (1), IR 850nm (2) e UV-IR cut (3) e respectivas fotos capturadas do milho.

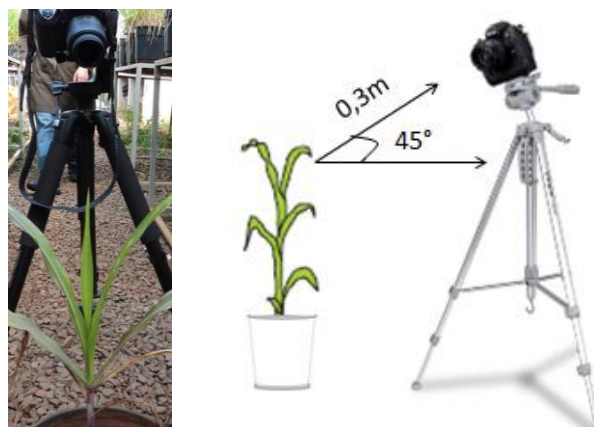


FIGURA 9 – Geometria utilizada para a captura das imagens.

### 3.2.4. Processamento dos Dados da Câmera Fotográfica Digital

Lonas plásticas de várias cores (vermelho, verde, preto, cinza e bege) foram utilizadas para testar e calibrar a câmera fotográfica digital. Isso se fez necessário uma vez que a imagem é composta por pixels cujos valores de seus números digitais (“digital numbers”) estão proporcionalmente relacionados a quantidade de energia refletida sob certas condições de iluminação. Para isso a reflectância espectral das lonas foram medidas por meio do espectralradiômetro, cujos valores do fator de reflectância média dos espectros para as bandas verde, vermelho e NIR, foram comparados com o valor médio dos números digitais dos pixels das imagens das mesmas lonas. As imagens foram capturadas, utilizando-se o filtro UV-IR cut para as bandas vermelho e verde e os filtros 720nm e 850nm para a faixa do infravermelho próximo do espectro eletromagnético (Figura 10).

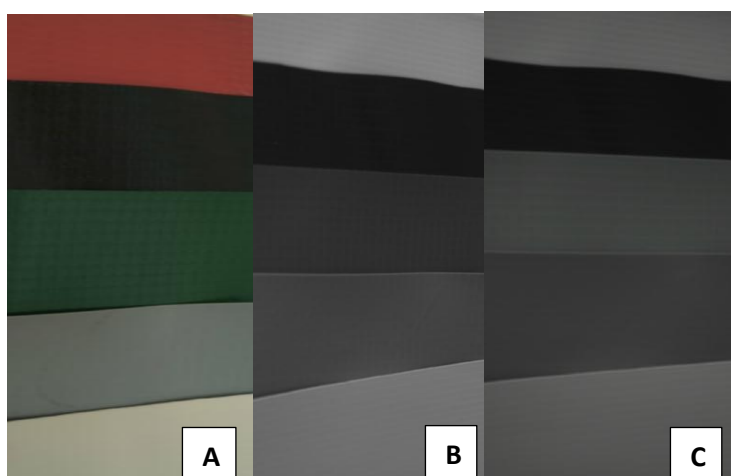


FIGURA 10 – Imagens das lonas por meio da câmera fotográfica, sendo (A) com o filtro UV-IR cut, (B) com o filtro de 720nm e (C) com o filtro de 850nm.

Nas plantas de milho as cenas foram armazenadas no formato Tagged Image File Format (TIFF) e no tamanho L ( $4256 \times 2848$  pixels), sendo posteriormente transformadas para a escala de cinza pelo software FinepixViewer . Para cada imagem realizou-se a média dos números digitais das bandas RGB, separadamente, de um quadro de  $21 \times 21$  pixels, estabelecido pelo algoritmo “leitura de pixels” no software Spring 5.2.3 (INPE, 2013).

Os números digitais médios para os canais vermelho, verde e NIR foram determinadas para a porção da imagem que recebeu maior intensidade luminosa.

Com os números digitais foram calculados os índices de vegetação NDVI, GNDVI, RNIR e GNIR.

### **3.2.5. Estimativa de Rendimento do Milho**

O rendimento do milho foi avaliado aos 80 DAE, sendo avaliada a massa seca e massa fresca da parte aérea. Para obtenção da massa seca o material foi levado à estufa, a  $65^{\circ}\text{C}$ , até atingir peso constante (MALAVOLTA et. al , 1997).

Também foi avaliada a área foliar da planta sendo determinada com o auxílio de trena, medindo-se comprimento e a largura das folhas; o produto dessas medidas foi multiplicado pelo fator de correção 0,71 (SAINT-GUILY, 1985).

Aos 80 DAE também foram coletadas amostras para análise foliar para o N. Para a preparação das amostras as folhas foram rapidamente lavadas com água corrente e posteriormente com água filtrada e depois enxugadas, acondicionadas em sacos de papel reforçados e postas para secar em estufa a  $65^{\circ}\text{C}$  e posteriormente levadas ao laboratório de análise de plantas da UEM, para a realização das análises pelo método Semi-micro-Kjeldahl com decomposição por digestão sulfúrica (MALAVOLTA et. al , 1997).

### **3.3. ANÁLISE DE DADOS**

As análises estatísticas dos dados obtidos durante o experimento foram avaliadas separadamente sendo, na primeira etapa, relativas as doses de N totais aplicadas (semeadura e cobertura) e os diferentes atributos avaliados no milho (massa seca, massa fresca, área foliar e nitrogênio foliar) bem como sua correlação. Na segunda etapa avaliou-se o comportamento espectral do milho nas diferentes doses de N e dias de avaliação. Posteriormente avaliou-se a relação entre os IV's obtidos pelos dois sensores e as doses de N nos diferentes dias de

avaliação. Avaliou-se também a correlação entre os índices de vegetação do espectralradiômetro e das imagens digitais. Finalmente, avaliou-se a relação entre os atributos avaliados do milho e os índices de vegetação obtidos pelos diferentes métodos.

### 3.3.1. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para verificar a existência de uma relação funcional entre as doses de N aplicadas e o teor de N foliar, massa seca, massa fresca e área foliar aos 80 DAE, foram utilizados os testes de Shapiro-Wilk que verifica se os dados apresentam uma distribuição normal e de Levene que verifica se os dados apresentam homogeneidade de variâncias. Quando essas duas pressuposições foram atendidas, foi aplicada a análise de regressão a 0,05 de significância pelo teste F. Foi utilizado o software Sisvar para o ajuste de modelos lineares de primeiro e segundo grau. Quando o teste F não foi significativo para a regressão no modelo linear de primeiro grau procedeu-se o ajuste de um modelo linear de segundo grau. A escolha dos modelos foi feita com base no critério de não significância do teste F para falta de ajustamento, significância do teste F para regressão e significância do teste t das estimativas dos coeficientes de regressão, todas ao nível de 5% de probabilidade. No caso das regressões de primeiro e segundo grau serem significativas, utilizou-se a de maior grau. O coeficiente de determinação  $R^2$  foi determinado pelo quociente entre a soma de quadrados da regressão e a soma de quadrados de tratamentos.

Para a visualização do comportamento espectral do milho submetido a diferentes doses de N aplicadas foram gerados para cada dose, gráficos médios da resposta espectral, sendo realizado para 15, 30, 45, 65 e 80 DAE. No eixo das abscissas foram plotados os valores dos comprimentos de onda do espectro (nm) e no eixo das ordenadas os fatores reflectância médios das folhas do milho. Também foram gerados gráficos para cada dose de N aplicada, para assim visualizar o comportamento espectral do desenvolvimento do milho nas diferentes doses de N.

Foram realizadas análises de regressão para verificar a existência de uma relação funcional entre os índices de vegetação NDVI, GNDVI, RNIR e GNIR obtidos pelos três métodos com as diferentes doses de N. As regressões foram feitas para 15, 30, 45, 60 e 80 DAE, seguindo os mesmos critérios para as relações entre os atributos avaliados do milho e as doses de N.

A avaliação da relação entre os IV's do espectrorradiômetro e os IV's obtidos pelas imagens da câmera fotográfica foi realizada por meio de análise de correlação de Pearson aos 15, 30, 45, 60 e 80 DAE, assim como a avaliação da relação entre os índices de vegetação e os atributos do milho, mas apenas para os dados obtidos aos 80DAE.

Posteriormente realizou-se o teste t para verificar a significância dos coeficientes de correlação. Os valores dos coeficientes foram interpretados conforme Santos (2007).



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. CALIBRAÇÃO DA CÂMERA FOTOGRÁFICA DIGITAL

Os gráficos das correlações das imagens com o espectrorradiômetro são apresentadas na Figura 11, onde observa-se que em todas as bandas do espectro avaliadas apresentaram altas correlações de Pearson sendo superiores a 0,9 e significativas pelo teste t a 1% de probabilidade. Dessa forma, tem-se uma análise preliminar da possível utilização da câmera fotográfica como substituição ao espectrorradiômetro. Além disso, nas correlações com as bandas NIR dos dois sensores, observa-se que o uso do filtro de 720nm na câmera fotográfica proporcionou resultados melhores do que com o uso do filtro de 850nm, e também na banda verde tem-se maiores correlações do que na banda vermelha.

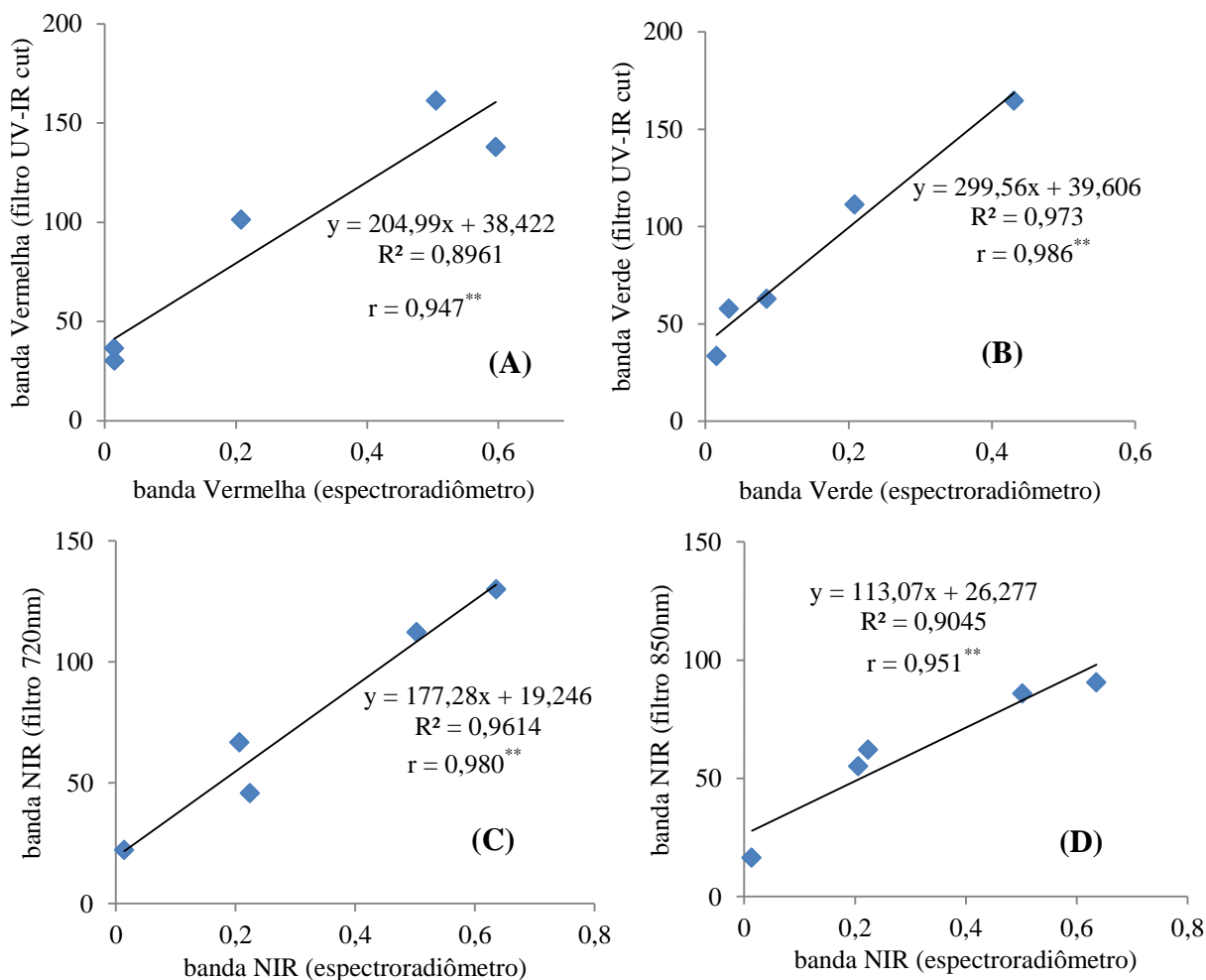


FIGURA 11 – Dispersão e correlação das bandas Vermelha (A), Verde (B), NIR (720nm) (C) e NIR (850nm) (D) das imagens versus as bandas do espectrorradiômetro.

Pequenas variações deve-se, provavelmente a falta de algum material com padronização da cor, uma vez que trata-se de lonas plásticas comumente encontradas no mercado. Mesmo assim, os valores de  $r^2$  foram elevados e significativos o que permitiu a continuidade dos trabalhos.

#### 4.2. AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO DO TEOR DE NITROGÊNIO FOLIAR, MASSA SECA, MASSA FRESCA E ÁREA FOLIAR COM AS DOSES DE NITROGÊNIO AOS 80DAE.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados dos testes Levene e Shapiro Wilk para a homogeneidade de variância e normalidade de distribuição dos erros e a análise de variância da regressão para as 50 amostras de cada atributo avaliado no milho.

TABELA 2 – Resultado do teste F da análise de variância da regressão dos modelos ajustados entre doses de N aplicadas e valores de massa seca (MS), massa fresca (MF), área foliar (AF) e nitrogênio foliar (NF).

	Shapiro wilk	Levene	Falta de ajuste	Regressão Linear	Regressão Quadrática
	$W_{calc}$	$F_{calc}$	$F_{calc}$	$F_{calc}$	$F_{calc}$
MS	0,957 <sup>ns</sup>	0,907 <sup>ns</sup>	0,421 <sup>ns</sup>	0,201 <sup>ns</sup>	8,891 <sup>*</sup>
MF	0,969 <sup>ns</sup>	2,584 <sup>*</sup>	---	---	---
AF	0,974 <sup>ns</sup>	1,740 <sup>ns</sup>	0,850 <sup>ns</sup>	0,785 <sup>ns</sup>	9,605 <sup>*</sup>
NF	0,975 <sup>ns</sup>	2,103 <sup>ns</sup>	0,295 <sup>ns</sup>	116,277 <sup>*</sup>	1493,0 <sup>ns</sup>

\* significativo ( $p < 0,05$ ); <sup>ns</sup> não significativo

Observa-se, que a variável massa fresca não apresentou homogeneidade de variância invalidando sua análise, pois esta é uma premissa para que se utilize análise de variância e teste t. As demais variáveis não apresentaram significância para a falta de ajuste das regressões. Dessa forma, as regressões encontradas sendo significativas são válidas para explicar a variável. As estimativas dos parâmetros da regressão são apresentados na Tabela 3, bem como, o teste t para cada coeficiente. Observa-se que os parâmetros foram significativos a 5% de probabilidade, sendo, portanto, válidos.

TABELA 3 - Estimativas, erro padrão da média (EP) e teste t para os coeficientes de regressão dos modelos lineares ajustados aos 80DAE entre doses de N aplicadas e valores de massa seca (MS), área foliar (AF) e nitrogênio foliar (NF).

		Estimativas	EP	t calc	Pr> t	
MS	$\beta_0$	20,85	2,04	10,23	0,00	*
	$\beta_1$	0,11	0,04	2,99	0,00	*
	$\beta_2$	0,00	0,00	-2,98	0,00	*
AF	$\beta_0$	0,19	0,02	9,10	0,00	*
	$\beta_1$	0,00	0,00	3,22	0,00	*
	$\beta_2$	0,00	0,00	-3,10	0,00	*
NF	$\beta_0$	1,23	0,08	14,70	0,00	*
	$\beta_1$	0,01	0,00	10,78	0,00	*

\* significativo ( $p < 0,05$ )

Na Figura 12 observa-se a resposta quadrática dos valores de massa seca de milho em função das doses de N aplicadas, este modelo ajustado apresentou como ponto de máximo no eixo x o valor de 157,8 kg ha<sup>-1</sup> de N aplicados que proporcionou 29,33 gramas de massa seca por planta.

De acordo com o coeficiente de determinação da equação tem-se que 83,73% da variável massa seca está sendo explicada pela equação encontrada. Dados similares foram encontrados por Mendonça et al.(1999) que encontrou uma relação quadrática com produção máxima do milho em condições de irrigação com a dose de 262,6 kg ha<sup>-1</sup> de N.

De acordo com Lucena et al.(2000) o máximo rendimento do milho foi atingido com 111 kg ha<sup>-1</sup> de N. Araújo, et al.(2004) em condições de campo encontraram resposta máxima para produção de massa seca com a dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Diferentemente, outros dois autores tiveram dose máxima utilizada no experimento de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, sendo Oliveira et al.(2009), que relataram que o aumento das doses de N proporcionou um incremento linear de massa seca no milho e Alves et al.(2002), que também constataram efeito linear e crescente da massa seca com doses de nitrogênio.

Observa-se que as dosagens situadas acima de 157,8 kg ha<sup>-1</sup> de N apresentaram tendência de incrementar negativamente os valores da MS. Tal fato pode estar relacionado a possível influência negativa do excesso de N, contribuindo para alta desnitrificação do

nutriente, maior volatilização do elemento, indução de toxidez na planta, e acidificação do solos pelas altas doses, uma vez que a fonte de aplicação foi a uréia.

Com isso vários nutrientes podem ter ficado indisponíveis para a planta, causando menor ganho de massa. De acordo com Fernandes et al.(2005) concordando também com Moll et al. (1982) com o aumento da dose de N aplicada, a eficiência do uso de nitrogênio de todas as cultivares de milho do estudo diminuíram, pois geralmente o aproveitamento de N decresce com a aumento das doses aplicadas, pois o suprimento de N excede as necessidades da cultura, tais decréscimos podem ocorrer devido as perdas de amônia que aumentam com a doses de aplicação.

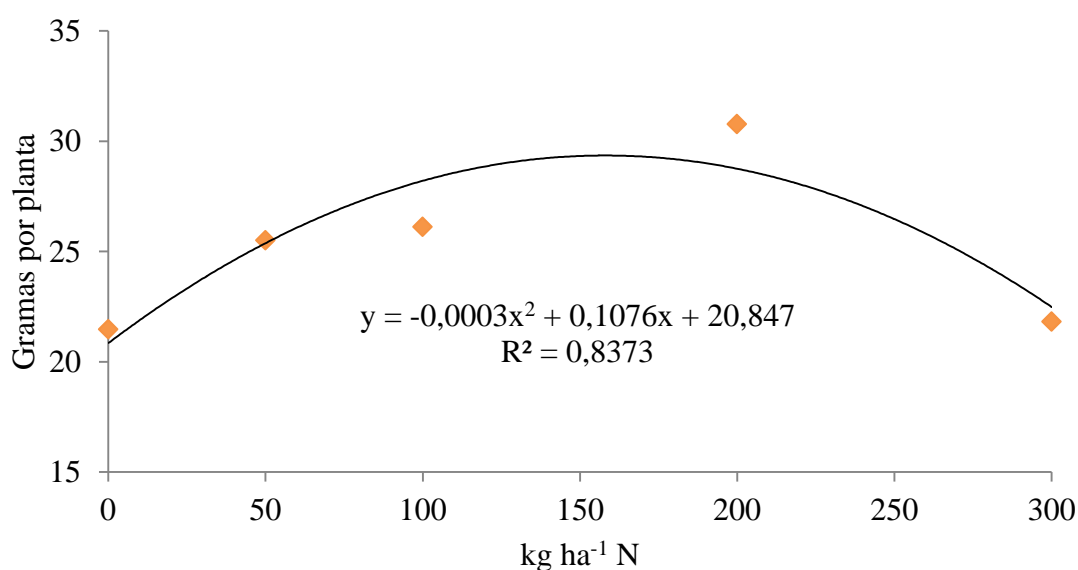


FIGURA 12 - Valores de massa seca médios em função das doses de N aplicadas (80DAE).

O comportamento da área foliar em relação às doses aplicadas de N apresentou o mesmo comportamento que a variável massa seca (Figura 13), apresentando o modelo quadrático, uma vez que, conforme se aumentou as doses de N aplicadas houve resposta positiva de incremento de área foliar até um ponto crítico que, de acordo com a polinomial ajustada, foi de 145,63 kg ha<sup>-1</sup> de N aplicados para 0,27 m<sup>2</sup> de AF, tendo-se, após esse ponto, valores decrescentes de área foliar com o aumento das doses de N.

Esses dados discordam dos apresentados por Oliveira et al.(2009), em que a área foliar do milho apresentou um aumento linear com o aumento das doses de N aplicadas; porém nesta pesquisa a dose máxima utilizada no experimento foi de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, dose esta situada anteriormente ao ponto de inflexão da curva da Figura 12.

O valor de  $R^2$  indica que 96,95% da variável é explicada pela equação encontrada. O incremento negativo relacionado a dosagem acima de 145,63 kg ha<sup>-1</sup> de N aparenta novamente estar relacionado à influência negativa do excesso de N, na maior volatilização e desnitrificação do nutriente, como também na possível indução de toxidez na planta.

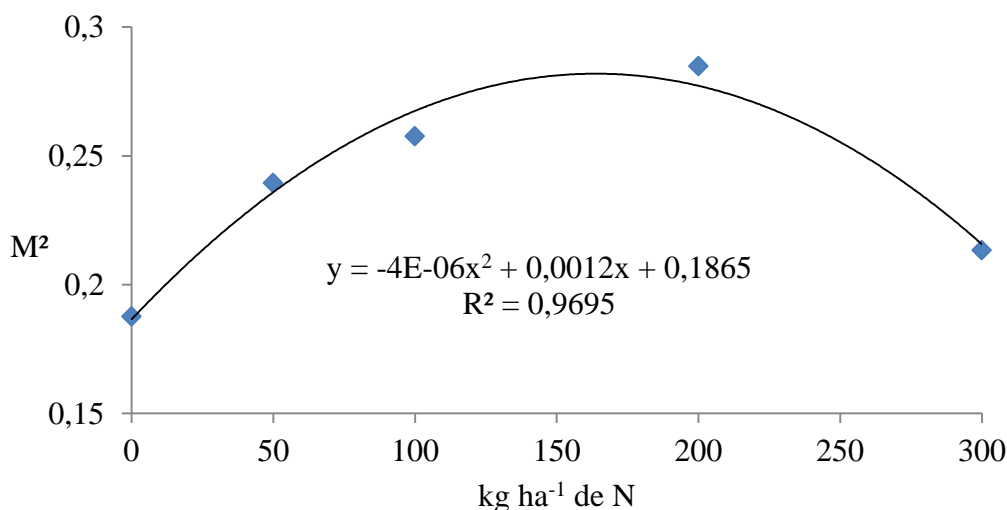


FIGURA 13 - Valores de área foliar médios em função das doses de N aplicadas, (80DAE).

Na Figura 14 apresenta-se o modelo linear de primeiro grau ajustado para o teor de nitrogênio foliar em relação as doses de N. Dessa forma, conforme se aumenta as doses de N aplicadas tem-se o aumento das porcentagens de nitrogênio foliar nas plantas. De acordo com o coeficiente de determinação, tem-se que 96,67% da variável está sendo explicada pela equação. Cerrato & Blackmer (1991) estimaram que o teor de N crítico na folha do milho é de 2,1%; este teor na Figura 14 corresponde a dose de 160,5 kg ha<sup>-1</sup> de N, sendo valor próximo a a dose média encontrada de cerca de 150 kg ha<sup>-1</sup> de N que se obteve as maiores quantidades de massa seca e área foliar.

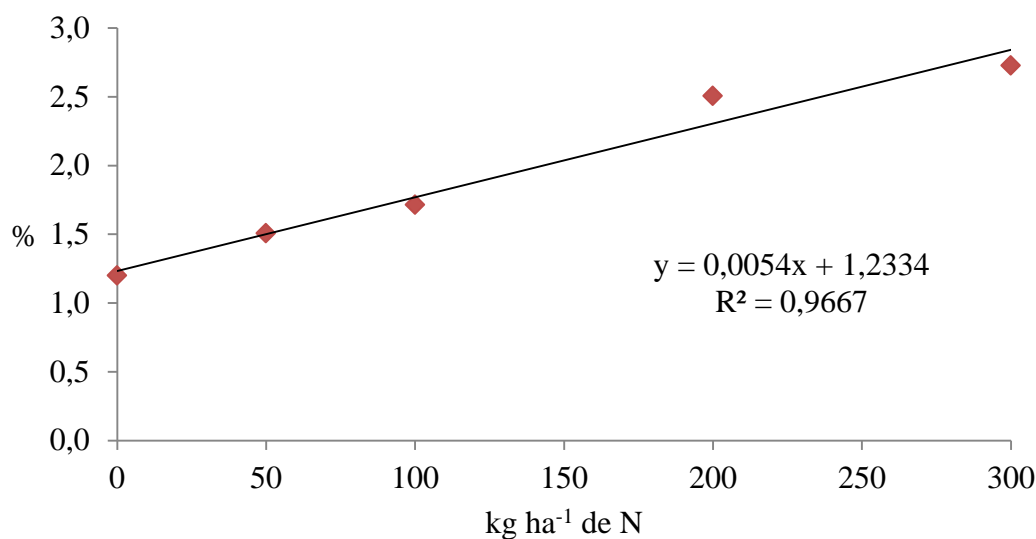


FIGURA 14 - Valores de nitrogênio foliar médios em função das doses de N aplicadas, (80DAE).

As correlações de Pearson encontradas aos 80DAE entre os atributos avaliados do milho (MS, MF, AF, NF) nas doses de N aplicadas (Tabela 4), apresentaram 60% das correlações classificadas como forte positiva e 40% delas classificadas como moderada positiva. O teste t para a significância tem-se que cerca de 83,3% apresentam  $r$  ( $p < 0,01$ ), 13,3% apresentam  $r$  ( $p < 0,05$ ) e apenas 3,3% não apresentaram significância, indicando dessa forma, a forte relação entre os atributos avaliados do milho.

TABELA 4 - Resultado dos coeficientes de correlação de Pearson e teste t aos 80DAE entre massa seca e área foliar (MS x AF), massa seca e massa fresca (MS x MF), massa seca e nitrogênio foliar (MS x NF), área foliar e massa fresca (AF x MF), área foliar e nitrogênio foliar (AF x NF) e massa fresca e nitrogênio foliar (MF x NF) nas doses de N aplicadas.

		MS x AF	MS x MF	MS x NF	AF x MF	AF x NF	MF x NF
Dose de nitrogênio	0	0,850 **	0,695 *	0,544 ns	0,754 **	0,764 **	0,744 **
	50	0,828 **	0,900 **	0,766 **	0,771 **	0,632 *	0,603 *
	100	0,925 **	0,774 **	0,855 **	0,817 **	0,864 **	0,683 *
	200	0,908 **	0,884 **	0,937 **	0,769 **	0,940 **	0,843 **
	300	0,993 **	0,853 **	0,839 **	0,819 **	0,826 **	0,912 **

\*\* significativo ( $p < 0,01$ ); \* significativo ( $p < 0,05$ ); ns: não significativo

### 4.3. COMPORTAMENTO ESPECTRAL DO MILHO NAS DIFERENTES DOSES DE NITROGÊNIO

As Figuras 15, 16, 17, 18 e 19 ilustram a curva espectral da folha do milho nos 15, 30, 45, 60 e 80 DAE, respectivamente, nas diferentes doses de N aplicadas. A faixa do espectro visível apresenta a resposta espectral dos pigmentos das folhas existentes nos cloroplastos.

O cloroplasto apresenta cerca de 65% clorofila, 6% carotenóide e 29% xantofila, podendo ocorrer variações de espécie para espécie. Em geral, a cor amarelada ou alaranjada dos carotenóides (carotenos e xantofilas) é mascarada pela cor verde da clorofila; dessa forma, quando a clorofila é degradada, predominam cores mais amarelas a alaranjadas, o que acontece com a deficiência de N nas folhas de milho, causando mudanças na cor das folhas para o verde claro ou amarelado.

A clorofila é a grande responsável pela absorção da R.E.M. no visível. A pigmentação das folhas altera a resposta espectral das mesmas apenas na região do visível. Os pigmentos que mais regulam o comportamento espectral da vegetação são as clorofilas A e B. A clorofila absorve a luz verde em pequena quantidade; por isso a reflectância é maior no intervalo da luz verde, o que é responsável pela cor verde das folhas para a visão humana.

Dessa forma, ao se analisar as Figuras 15, 16, 17, 18 e 19, percebe-se que, com o decorrer do tempo, os valores de fator de reflectância encontrados na faixa correspondente ao espectro visível, apresentam aumento das diferenças em relação as doses de N aplicadas (Figura 19), sendo que as doses mais baixas como 0 e 50 kg ha<sup>-1</sup> de N apresentaram alta reflectância.

Tal fato se justifica, pois, de acordo com Ponzoni (2001), a reflectância nas folhas quando submetidas a efeitos de estresses, tais como doenças, problemas fisiológicos e condições ambientais adversas, nos comprimentos de onda do visível, apresentam-se maior do que as folhas saudáveis.

Segundo Hoffer (1978), a produção de clorofila é reduzida quando a planta está sob estresse, reduzindo, também, absorção da REM, elevando, portanto, a reflectância nas regiões do verde e vermelho do espectro, resultando na cor amarela das folhas sob estresse.

O contrário também ocorre como as doses de 300, 200 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N que apresentaram menor reflectância na região visível do espectro, devido a maiores quantidades de clorofila. Esses dados estão de acordo com o trabalho de Blackmer et al. (1996) em que a

detecção de N foi melhor evidenciada na região de comprimento de onda centrada em 550 nm.

Além disso, segundo Fonseca, et al. (2002) em sua pesquisa com *Paspalum notatum*, notaram que com o aumento da biomassa, devido ao acréscimo das doses de N, ocorre redução da reflectância no espectro visível, que também foram similares aos experimentos com arroz, trigo e milho, em que a medida que aumenta os níveis de N aplicados, ocorre a diminuição da reflectância na porção visível do espectro (PATEL et al., 1985; FERNÁNDEZ et al., 1994; BLACKMER et al., MA et al., 1996).

O teor de 300 kg ha<sup>-1</sup> de N apresentou maior reflectância que o de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N, provavelmente devido a possível toxidez pelo excesso de N na planta.

Na região do infravermelho existe reduzida absorção da REM e considerável espalhamento interno na folha, tendo reflectância espectral quase constante e baixa absorção de água nesta região.

Gates et al. (1965) determinaram que a reflectância das folhas na região infravermelho do espectro é o resultado da interação da energia incidente com a estrutura do mesófilo. Essa estrutura pode ser modificada de acordo com alterações na relação água-ar no mesófilo devido a disponibilidade de água, alterando dessa forma a reflectância foliar. Além disso, quanto mais lacunosa for a estrutura interna foliar, maior será o espalhamento interno da radiação incidente, conseqüentemente, maior a reflectância.

Dessa forma, verificou-se que a Figura 15 apresenta as maiores variações nesta região. Porém, pelo fato das doses totais de N nesta fase de desenvolvimento ainda não terem sido aplicadas, tem-se que essas variações devem ser explicadas por fatores externos a folha. Já nas Figuras 16, 17, 18 e 19 as diferenças nessa região são muito pequenas o que pode-se dizer que a estrutura do mesófilo não foi afetada pelas doses de N.



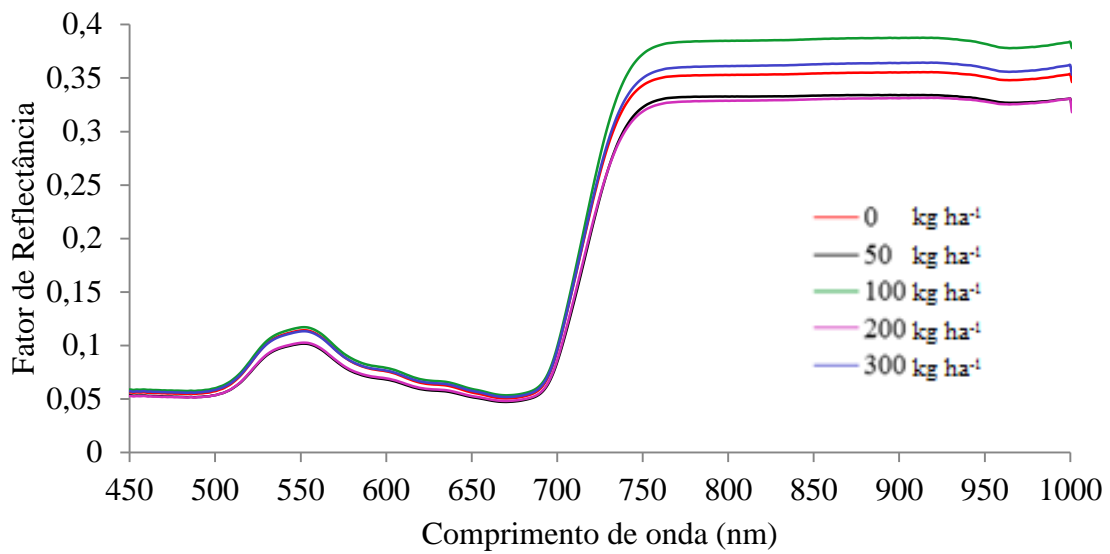


FIGURA 15 – Fator de reflectância médio das folhas de milho aos 15DAE nas diferentes doses de N aplicadas.

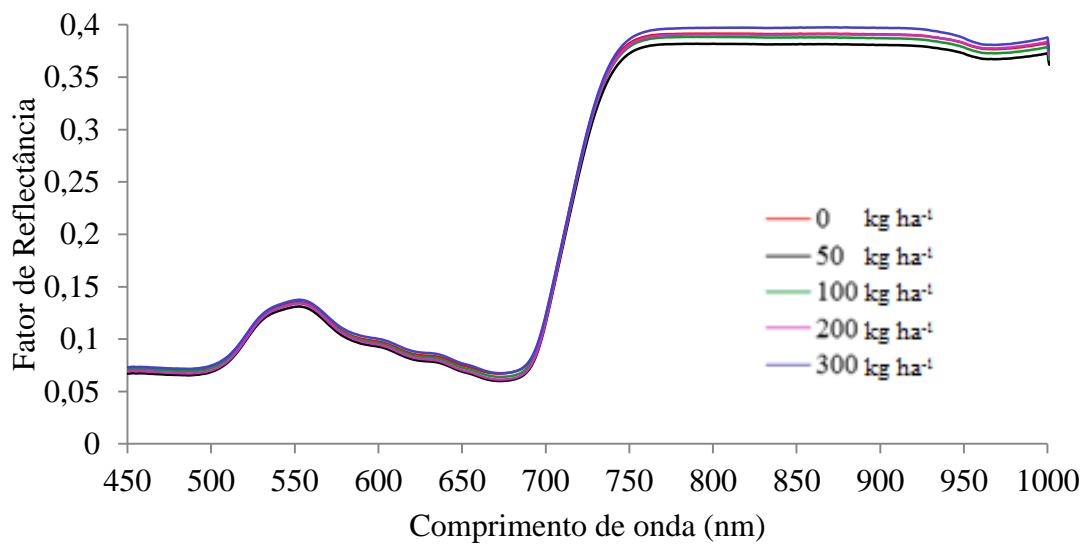


FIGURA 16 – Fator de reflectância médio das folhas de milho aos 30DAE nas diferentes doses de N aplicadas.

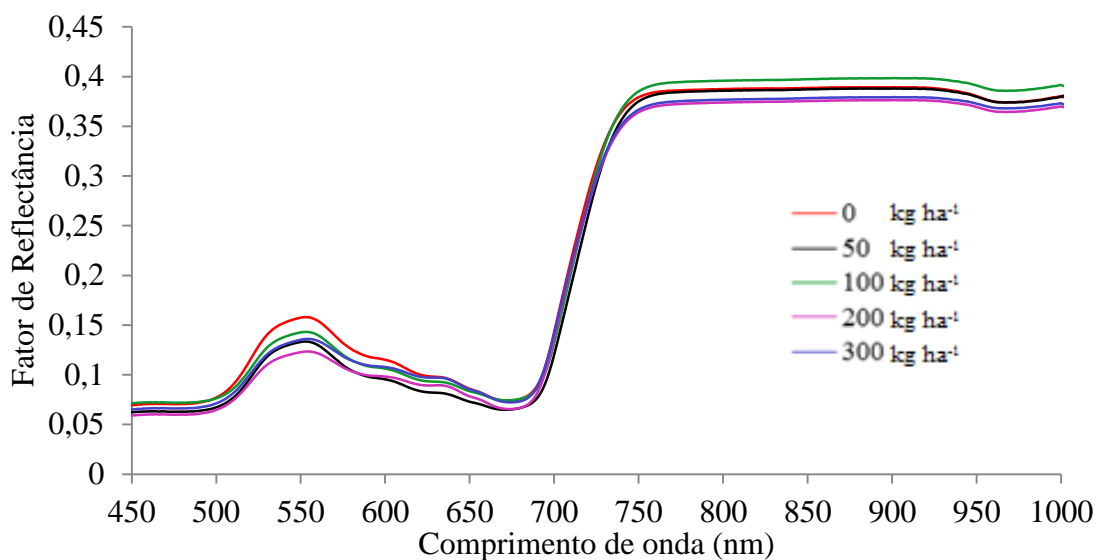


FIGURA 17 – Fator de reflectância médio das folhas de milho aos 45DAE nas diferentes doses de N aplicadas.

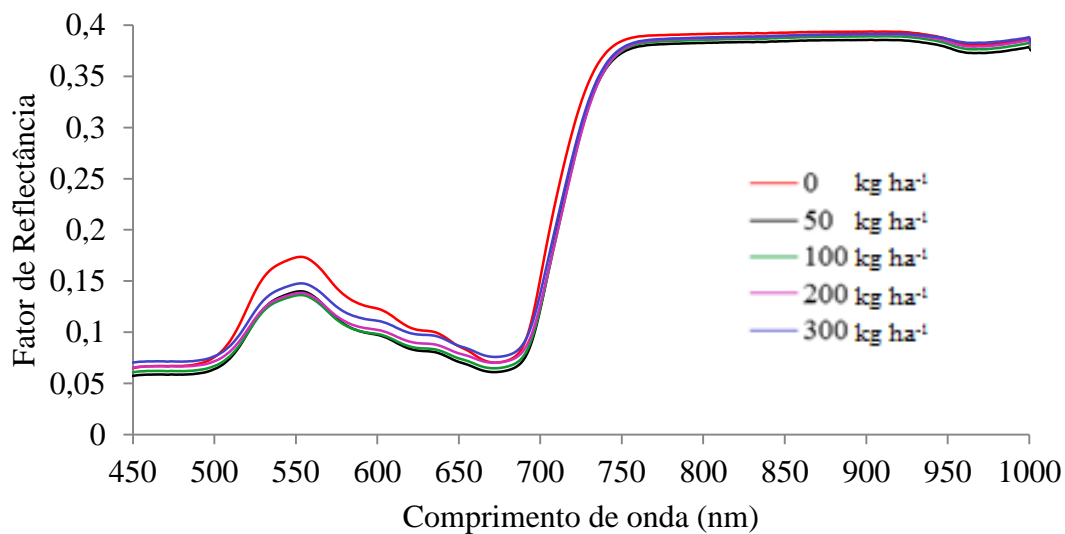


FIGURA 18 – Fator de reflectância médio das folhas de milho aos 60DAE nas diferentes doses de N aplicadas.

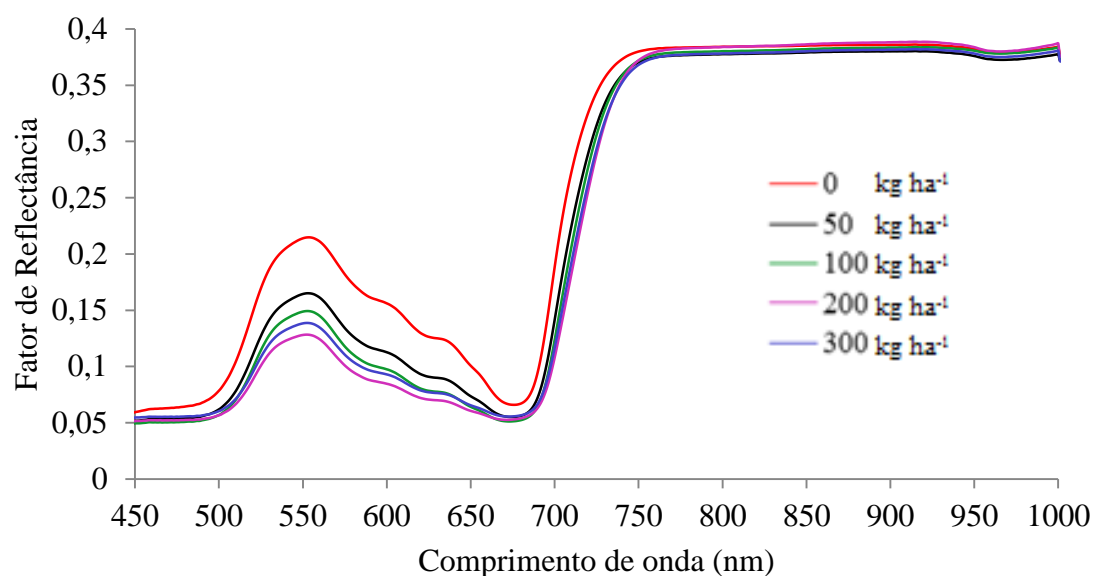


FIGURA 19 – Fator de reflectância médio das folhas de milho aos 80DAE nas diferentes doses de N aplicadas.

Nas Figuras 20, 21, 22, 23 e 24 pode-se observar a evolução da deficiência de N no milho nos diferentes DAE; dessa forma, a Figura 20, que apresenta o tratamento de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N foi o que mostrou maiores discriminações de 15DAE a 80DAE, sendo estas atenuadas conforme o incremento de aplicações de N.

De acordo com Coelho (2007), a recomendação para a adubação da cultura do milho varia de 120 a 160kg ha<sup>-1</sup> de N. Dessa forma, os tratamentos com doses acima de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N pouco se diferenciaram no tempo, pois nas altas doses, o solo apresenta quantidade suficiente de nitrogênio para o desenvolvimento do milho não tendo, portanto, deficiência de N e apresentando coloração verde escura nas folhas. Doses muito altas como a de 300 kg ha<sup>-1</sup> de N não sofreram alterações na refletância mesmo apresentando consumo de luxo.

As baixas doses de N apresentaram as maiores diferenças no espectro apresentado, isso se deve, principalmente, ao fato de que, no desenvolvimento do milho, inicialmente se degrada as reservas nutricionais presentes na semente até a segunda semana após a sua emergência e, posteriormente, começa a utilizar os nutrientes provenientes do solo e a fotossíntese começa a exercer sua função na planta. Dessa forma, conforme a quantidade de reservas da semente foram sendo consumidas, a deficiência de N foi proporcionando o acréscimo da reflectância na região visível do espectro, devido a redução da intensidade da coloração verde das folhas. No caso da dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N (Figura 24) essa mudança de coloração foi mais acentuada o que, segundo Hoffer (1978), acontece, pois a produção de

clorofila é reduzida quando a planta está sob estresse, e sob essas condições de acordo com Ponzoni (2001), proporcionou as maiores diferenças na reflectância do espectro visível durante o desenvolvimento do milho.

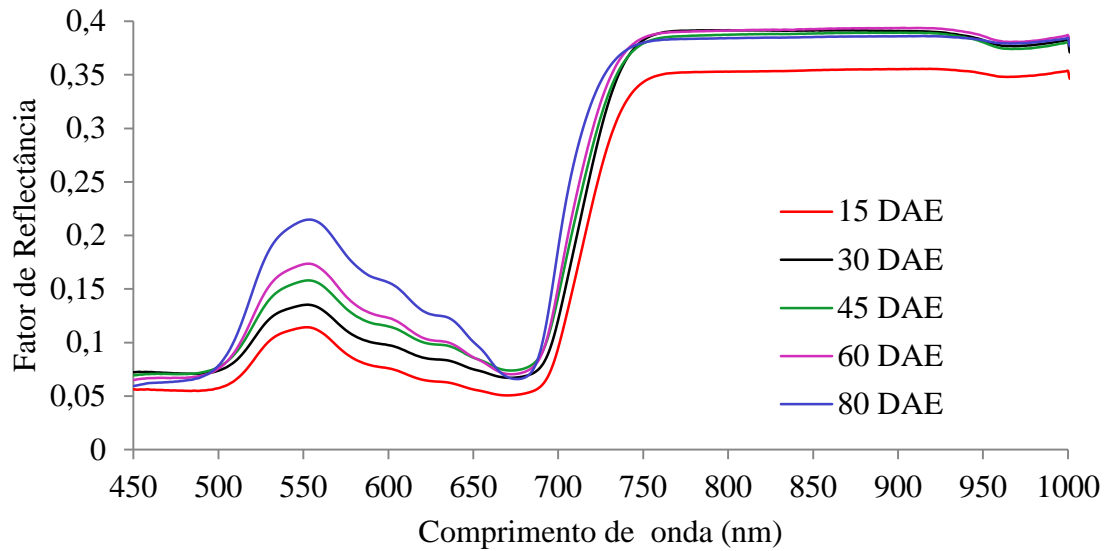


FIGURA 20 - Fator de reflectância médio das folhas de milho na dose aplicada de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N nos diferentes DAE.

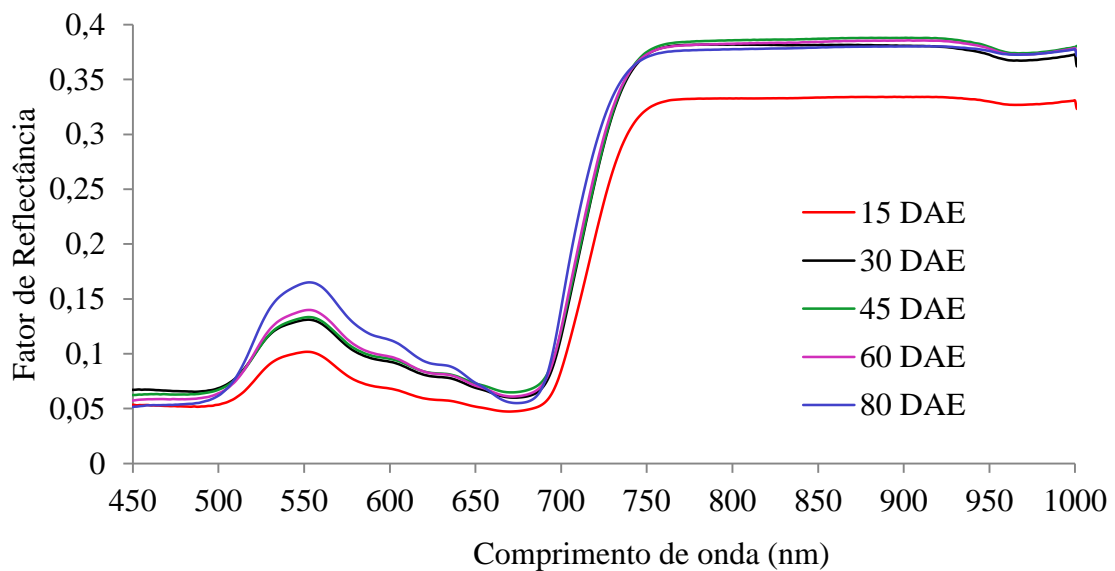


FIGURA 21 – Fator de reflectância médio das folhas de milho na dose aplicada de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N nos diferentes DAE.

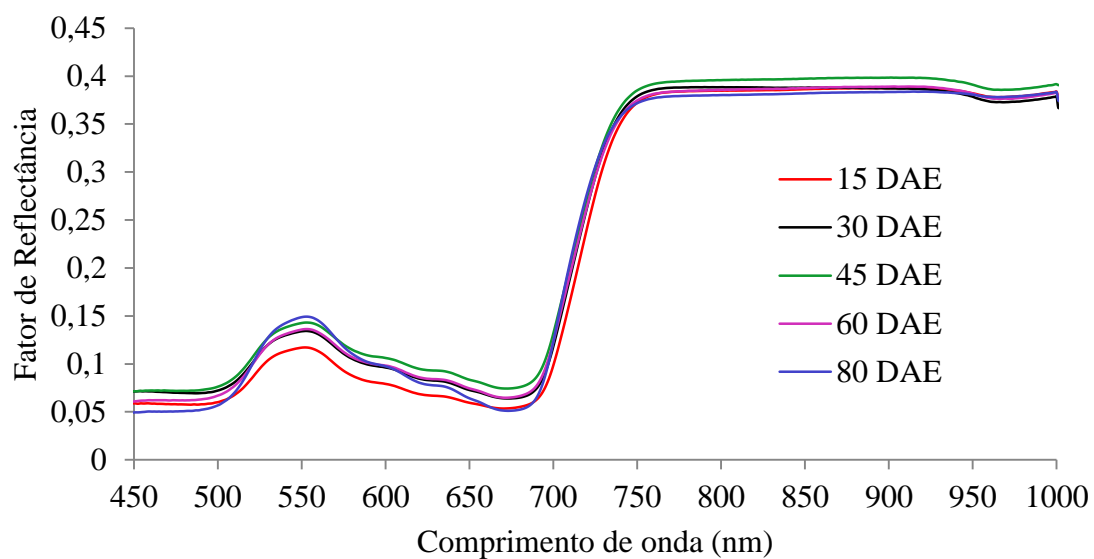


FIGURA 22 – Fator de reflectância médio das folhas de milho na dose aplicada de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N nos diferentes DAE.

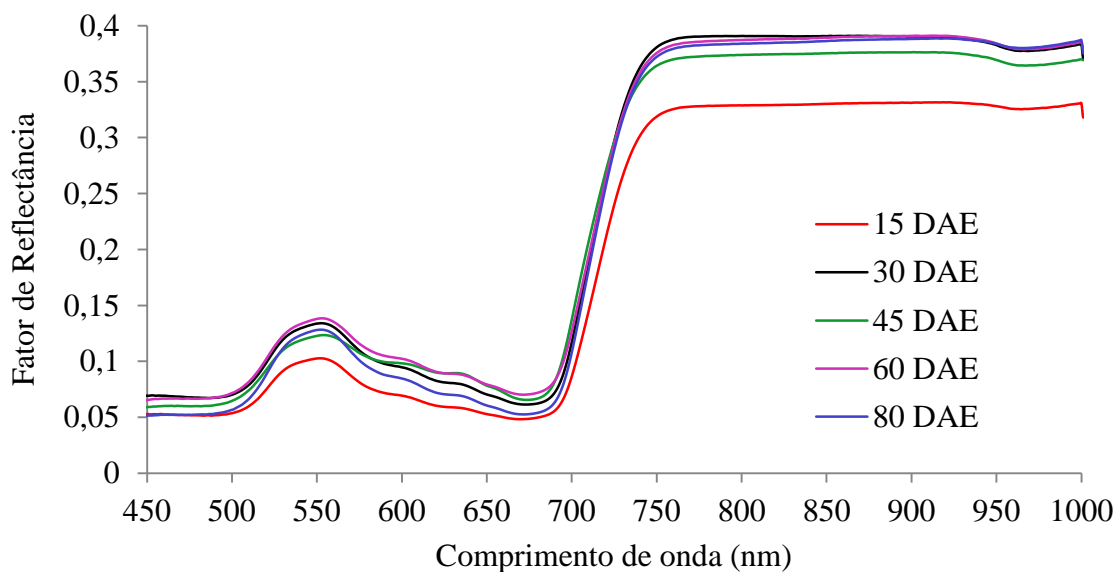


FIGURA 23 – Fator de reflectância médio das folhas de milho na dose aplicada de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N nos diferentes DAE.

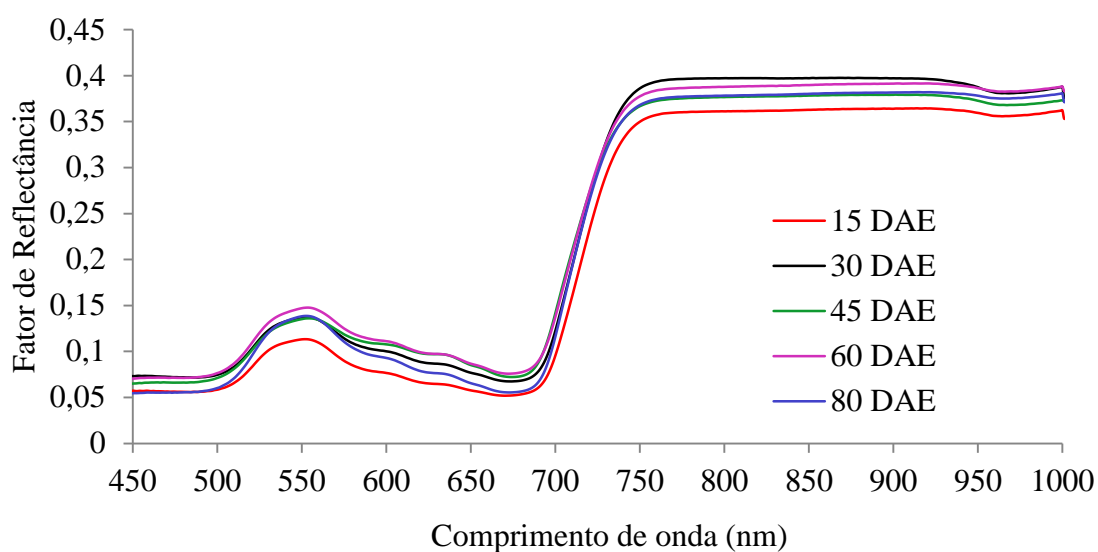


FIGURA 24 – Fator de reflectância médio das folhas de milho na dose aplicada de  $300 \text{ kg ha}^{-1}$  de N nos diferentes DAE.

#### 4.4. AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE AS DOSES DE NITROGÊNIO E OS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO OBTIDOS POR MEIO DO ESPECTRORADIÔMETRO E PELAS IMAGENS INFRAVERMELHAS OBTIDAS COM FILTRO DE 720nm E 850nm.

Segundo Moges et al. (2004), os IV's mais utilizados com a finalidade de avaliar o *status* nutricional das plantas e biomassa são o NDVI e o GNDVI. Dessa forma, além desses dois índices, analisou-se as razões simples GNIR e RNIR.

Foram efetuadas análises de regressão para verificar a existência de relação funcional significativa entre as variáveis dependentes (índices de vegetação) e a variável independente (doses de N), em todos os períodos analisados (15, 30, 45, 60 e 80 DAE)

Efetuuou-se todos os cálculos dos testes F, para a falta de ajustamento e a análise de variância da regressão, e também os testes t para os coeficientes dos modelos ajustados, todos a 5% de probabilidade. Adotou-se o modelo de regressão linear significativo e ajustado de maior grau. Não foram testados modelos superiores ao de segundo grau, por estes não representarem o fenômeno biológico da cultura, pois, em geral, a resposta com a elevação de doses de N é no máximo quadrática (PRIMAVESI et al., 2004).

A faixa de valores obtida pelo NDVI e GNDVI estão entre 0,2-0,6 e 0,1-0,5, respectivamente. Uma vegetação sadia em pleno vigor vegetativo, tem baixa refletância na faixa do espectro visível e alta refletância no infravermelho próximo. Deste modo altos valores de NDVI e GNDVI, no caso do milho, por serem avaliadas as mesmas plantas no

presente experimento, foram encontradas semelhanças entre as reflectâncias no infravermelho próximo e alta reflectância no espectro visível (500 a 700nm) variando com as doses de N. O pleno vigor vegetativo de plantas têm propensão de apresentar menor reflectância na faixa do visível citado quando comparados a plantas submetidas a estresse, apresentando assim maiores valores de índices de vegetação.

A faixa de valores obtida pelo GNIR e RNIR estão entre 0,4-0,9 e 0,3-0,8, respectivamente. Os índices GNIR e RNIR, são razões simples entre bandas do espectro visível e a banda do infravermelho próximo, apresentando uma relação inversa. Dessa forma, plantas mal nutridas apresentam maiores índices do que plantas nutricionalmente equilibradas.

A Tabela 5 apresenta os resultados aos 15DAE da análise de variância da regressão e os pressupostos básicos para normalidade de distribuição e homogeneidade de variância. Todos os dados apresentaram homogeneidade e normalidade, além da falta de ajuste não significativa validando a regressão.

Porém, nenhuma regressão foi significativa pelo teste F, o que indica que para os modelos testados, não foi possível estabelecer uma relação funcional significativa. Tal fato era esperado já que a adubação total ainda não havia sido finalizada, estando o solo apenas com as doses de N utilizadas na semeadura. Resultados similares foram encontrados por Waskom et al. (1996) e Rozas & Echeverria (1998) que consideraram o estágio de 6 a 7 folhas do milho inadequado para o uso do clorofilômetro para separar áreas com diferentes adubações com N, pois, o N não é limitante ao milho até esse estágio (WASKOM et al., 1996; ARGENTA, 2001).

Dessa forma, aos 15DAE, com a análise dos modelos ajustados, verificou-se que as doses de N aplicadas não tiveram efeitos significativos sobre os valores médios dos índices de vegetação estudados.

TABELA 5 – Resultado do teste F da análise de variância da regressão entre doses de N aplicadas e índices de vegetação para cada sensor utilizado ajustado aos 15DAE.

		15DAE				
	Índice de vegetação	Shapiro-Wilk	Levene	Falta de Ajuste	Regressão Linear	Regressão Quadrática
		$W_{calc}$	$F_{calc}$	$F_{calc}$	$F_{calc}$	$F_{calc}$
Filtro-720nm	GNDVI	0,984 <sup>ns</sup>	0,388 <sup>ns</sup>	1,615 <sup>ns</sup>	0,435 <sup>ns</sup>	0,695 <sup>ns</sup>
	NDVI	0,991 <sup>ns</sup>	0,483 <sup>ns</sup>	1,757 <sup>ns</sup>	0,073 <sup>ns</sup>	0,014 <sup>ns</sup>
	GNIR	0,988 <sup>ns</sup>	0,457 <sup>ns</sup>	1,632 <sup>ns</sup>	0,480 <sup>ns</sup>	0,783 <sup>ns</sup>
	RNIR	0,974 <sup>ns</sup>	0,683 <sup>ns</sup>	2,172 <sup>ns</sup>	0,132 <sup>ns</sup>	0,117 <sup>ns</sup>
Filtro-850nm	GNDVI	0,959 <sup>ns</sup>	0,537 <sup>ns</sup>	0,654 <sup>ns</sup>	0,093 <sup>ns</sup>	3,650 <sup>ns</sup>
	NDVI	0,986 <sup>ns</sup>	0,827 <sup>ns</sup>	0,285 <sup>ns</sup>	0,003 <sup>ns</sup>	0,326 <sup>ns</sup>
	GNIR	0,975 <sup>ns</sup>	0,317 <sup>ns</sup>	0,543 <sup>ns</sup>	0,107 <sup>ns</sup>	3,663 <sup>ns</sup>
	RNIR	0,986 <sup>ns</sup>	0,872 <sup>ns</sup>	0,297 <sup>ns</sup>	0,009 <sup>ns</sup>	0,320 <sup>ns</sup>
Espectrorradiômetro	GNDVI	0,961 <sup>ns</sup>	2,005 <sup>ns</sup>	1,080 <sup>ns</sup>	0,030 <sup>ns</sup>	2,433 <sup>ns</sup>
	NDVI	0,960 <sup>ns</sup>	1,120 <sup>ns</sup>	0,871 <sup>ns</sup>	0,163 <sup>ns</sup>	0,704 <sup>ns</sup>
	GNIR	0,968 <sup>ns</sup>	1,956 <sup>ns</sup>	1,043 <sup>ns</sup>	0,036 <sup>ns</sup>	2,382 <sup>ns</sup>
	RNIR	0,964 <sup>ns</sup>	1,117 <sup>ns</sup>	0,842 <sup>ns</sup>	0,157 <sup>ns</sup>	0,657 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup> não significativo

Analisando a Tabela 6, somente o NDVI, com o uso do filtro de 850nm, não apresentou normalidade de distribuição dos erros, não tendo análise de variância válida, sendo que, os demais apresentaram normalidade e homogeneidade de variância. Todas as faltas de ajuste foram não significativas validando as regressões encontradas. Porém, aos 30 DAE apenas uma regressão significativa com o uso do filtro de 850nm para o GNDVI, mas, devido ao elevado CV, tem-se heterogeneidade dos dados e baixa precisão. Dessa forma, considerou-se a regressão como não válida. Assim, as quantidades de N aplicadas não puderam ser detectadas aos 30DAE, pelos métodos estudados.



TABELA 6 – Resultado do teste F da análise de variância da regressão entre doses de N aplicadas e índices de vegetação para cada sensor utilizado ajustado aos 30DAE.

		30DAE				
	Índice de vegetação	Shapiro-Wilk	Levene	Falta de Ajuste	Regressão Linear	Regressão Quadrática
		$W_{calc}$	$F_{calc}$	$F_{calc}$	$F_{calc}$	$F_{calc}$
Filtro-720nm	GNDVI	0,965 <sup>ns</sup>	1,775 <sup>ns</sup>	0,541 <sup>ns</sup>	3,161 <sup>ns</sup>	0,641 <sup>ns</sup>
	NDVI	0,988 <sup>ns</sup>	1,188 <sup>ns</sup>	0,115 <sup>ns</sup>	0,225 <sup>ns</sup>	0,133 <sup>ns</sup>
	GNIR	0,960 <sup>ns</sup>	1,696 <sup>ns</sup>	0,519 <sup>ns</sup>	3,079 <sup>ns</sup>	0,739 <sup>ns</sup>
	RNIR	0,984 <sup>ns</sup>	0,805 <sup>ns</sup>	0,130 <sup>ns</sup>	1,687 <sup>ns</sup>	0,325 <sup>ns</sup>
Filtro-850nm	GNDVI	0,988 <sup>ns</sup>	0,603 <sup>ns</sup>	0,613 <sup>ns</sup>	7,344 <sup>*</sup>	0,010 <sup>ns</sup>
	NDVI	0,940 <sup>*</sup>	1,204 <sup>ns</sup>	---	---	---
	GNIR	0,983 <sup>ns</sup>	0,611 <sup>ns</sup>	0,134 <sup>ns</sup>	0,003 <sup>ns</sup>	0,184 <sup>ns</sup>
	RNIR	0,874 <sup>ns</sup>	1,416 <sup>ns</sup>	0,355 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	1,123 <sup>ns</sup>
Espectrorradiômetro	GNDVI	0,970 <sup>ns</sup>	2,262 <sup>ns</sup>	0,170 <sup>ns</sup>	0,005 <sup>ns</sup>	0,235 <sup>ns</sup>
	NDVI	0,985 <sup>ns</sup>	0,673 <sup>ns</sup>	0,384 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	1,143 <sup>ns</sup>
	GNIR	0,969 <sup>ns</sup>	2,217 <sup>ns</sup>	0,134 <sup>ns</sup>	0,003 <sup>ns</sup>	0,184 <sup>ns</sup>
	RNIR	0,987 <sup>ns</sup>	0,607 <sup>ns</sup>	0,355 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	1,123 <sup>ns</sup>

\*\* significativo ( $p < 0,01$ ); \* significativo ( $p < 0,05$ ); ns: não significativo

Na Tabela 7 são apresentados os resultados dos pressupostos estatísticos básicos tendo somente ausência de homogeneidade de variância para o índice RNIR com o uso do filtro de 850nm e 720nm. Todos os índices apresentaram falta de ajustamento não significativo, validando as regressões. Porém, mesmo com regressões significativas e desvio de regressão não significativos, os índices GNDVI e NDVI adquiridos com o uso do filtro de 720nm, bem como os índices GNDVI e NDVI adquiridos com o uso do filtro de 850nm apresentaram CV classificado como muito alto o que indica heterogeneidade dos dados. Dessa forma, considerou-se as regressões como não válidas, devido a falta de precisão destes.

Os valores muito altos de CV (>30%) segundo Gomes (1985), foram encontrados em vários índices de vegetação calculados a partir das imagens.

Tal condição pode ser explicada pelas possíveis variações ambientais do experimento tais como variações na radiação solar incidente, nas temperaturas e na possível influência da composição total da imagem, com alguns pixels influenciando outros ao redor, devido ao

preenchimento do campo de visada da imagem, em que nesta fase de desenvolvimento do milho apresentava áreas escuras de fundo, não referentes as folhas da planta.

TABELA 7 – Resultado do teste F da análise de variância da regressão entre doses de N aplicadas e índices de vegetação para cada sensor utilizado ajustado aos 45DAE.

		45DAE				
	Índice de vegetação	Shapiro-Wilk	Levene	Falta de Ajuste	Regressão Linear	Regressão Quadrática
		W <sub>calc</sub>	F <sub>calc</sub>	F <sub>calc</sub>	F <sub>calc</sub>	F <sub>calc</sub>
Filtro-720nm	GNDVI	0,975 <sup>ns</sup>	1,153 <sup>ns</sup>	1,052 <sup>ns</sup>	17,566*	5,217*
	NDVI	0,983 <sup>ns</sup>	2,502 <sup>ns</sup>	1,927 <sup>ns</sup>	13,489*	2,823 <sup>ns</sup>
	GNIR	0,971 <sup>ns</sup>	2,360 <sup>ns</sup>	1,055 <sup>ns</sup>	20,173*	6,537*
	RNIR	0,969 <sup>ns</sup>	4,108*	---	---	---
Filtro-850nm	GNDVI	0,983 <sup>ns</sup>	1,153 <sup>ns</sup>	0,605 <sup>ns</sup>	21,817*	3,814 <sup>ns</sup>
	NDVI	0,983 <sup>ns</sup>	2,502 <sup>ns</sup>	1,104 <sup>ns</sup>	16,667*	1,040 <sup>ns</sup>
	GNIR	0,985 <sup>ns</sup>	2,360 <sup>ns</sup>	0,826 <sup>ns</sup>	24,564*	4,951*
	RNIR	0,969 <sup>ns</sup>	4,108*	---	---	---
Espectrorradiômetro	GNDVI	0,990 <sup>ns</sup>	0,400 <sup>ns</sup>	2,034 <sup>ns</sup>	2,704 <sup>ns</sup>	7,809*
	NDVI	0,970 <sup>ns</sup>	0,527 <sup>ns</sup>	1,475 <sup>ns</sup>	1,029 <sup>ns</sup>	2,378 <sup>ns</sup>
	GNIR	0,991 <sup>ns</sup>	0,326 <sup>ns</sup>	2,105 <sup>ns</sup>	2,816 <sup>ns</sup>	7,871*
	RNIR	0,959 <sup>ns</sup>	0,481 <sup>ns</sup>	1,396 <sup>ns</sup>	1,086 <sup>ns</sup>	2,274 <sup>ns</sup>

\* significativo ( $p < 0,05$ ); <sup>ns</sup> não significativo

Aos 45DAE pôde-se distinguir as doses de N pelo uso do espectrorradiômetro ao se calcular os índices GNDVI e GNIR, semelhante ao encontrado por Gitelson et al. (1996), que identificaram que o índice GNDVI foi o mais indicado dentre os estudados para detectar diferentes *status* nutricionais. Os autores também verificaram maior sensibilidade do GNDVI quando comparado com o NDVI para identificar diferentes taxas de concentração de clorofila em duas espécies vegetais.

Segundo Wu et al. (2007), o estágio de desenvolvimento da cultura para a detecção de N é de extrema importância, pois, caso a identificação for muito tardia, não haverá possibilidade para a correção da deficiência de N no mesmo ciclo da produção. Assim, os modelos ajustados aos 45DAE foram os mais antecipados para se conseguir a detecção de N.

Para as imagens digitais extraídas neste período, os resultados estabeleceram que apenas o índice GNIR foi satisfatório para a detecção de N. Sendo que, desta forma, a câmera foi menos sensível que o espectroradiômetro na captura das informações nesta fase de desenvolvimento das plantas de milho, que apresentou dois índices satisfatórios para detecção de N.

Analisando a Tabela 8, observa-se que todas as estimativas dos parâmetros da regressão foram significativas, validando as regressões encontradas.

Todas as regressões significativas e válidas apresentaram comportamento quadrático e coeficientes de determinação acima de 70%.

Os coeficientes de determinação das imagens com o uso do filtro de 720nm e 850nm aos 45DAE foram mais altos que aqueles obtidos com o uso do espectroradiômetro. Tal fato pode ser explicado pelas médias se ajustarem melhor as equações geradas para explicar a variável do que um único valor obtido pelo sensor.

No entanto, esse coeficiente pode estar superestimado, pois os índices das imagens tiveram CV em torno de 22,07%, sendo classificados como alto, enquanto que, com o uso do espectroradiômetro se obteve em média ,10,76% ,classificado como médio. Desta forma, tem-se maior precisão no uso do espectroradiômetro para detecção do N, já que ambas as regressões apresentaram significância a 0,05 de probabilidade. Além disso, os maiores valores de erro padrão da média das regressões foram obtidas pelas imagens e menores valores com o uso do espectroradiômetro.

TABELA 8 – Estimativas dos parâmetros, erro padrão da média (EP) e teste t para os coeficientes de regressão dos modelos lineares ajustados aos 45DAE entre índices de vegetação e doses de N aplicadas para cada sensor utilizado.

		45DAE			
	Índice de vegetação	Variáveis	EP	Estimativa	t
Filtro 720nm	GNIR	$\beta_0$	5,27E-02	1,02E+00	19,43*
		$\beta_1$	9,29E-04	-3,40E-03	-3,66*
		$\beta_2$	2,95E-06	8,00E-06	2,56*
Filtro 850nm	GNIR	$\beta_0$	7,33E-02	1,59E+00	21,68*
		$\beta_1$	1,29E-03	-4,47E-03	-3,46*
		$\beta_2$	4,11E-06	9,00E-06	2,23*
Espectrorradiômetro	GNDVI	$\beta_0$	1,30E-02	4,96E-01	38,19*
		$\beta_1$	2,29E-04	7,18E-04	3,13*
		$\beta_2$	7,30E-07	-2,00E-06	-2,79*
	GNIR	$\beta_0$	1,11E-02	3,37E-01	30,53*
		$\beta_1$	1,95E-04	-6,14E-04	-3,15*
		$\beta_2$	6,20E-07	2,00E-06	2,81*

\* significativo ( $p < 0,05$ )

A Figura 25 mostra o comportamento da variável GNIR com o filtro de 720nm apresentando um ponto de mínimo de 212,4 kg ha<sup>-1</sup> de N gerando um índice GNIR de 0,66. Após esse ponto tem-se um acréscimo do índice.

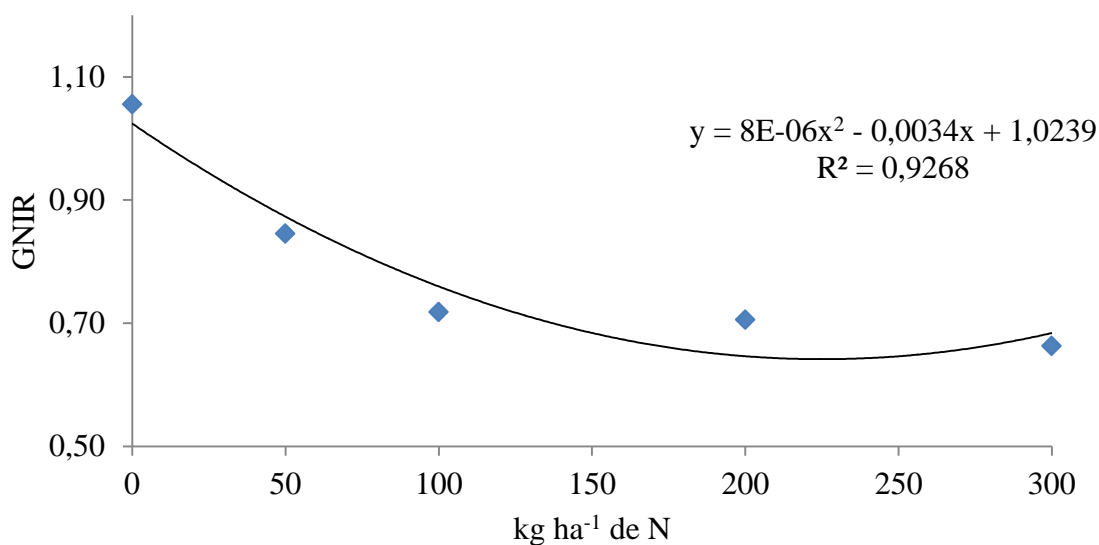


FIGURA 25 - Valores de GNIR médios com o uso do filtro de 720nm em função das doses de N aplicadas (45DAE).

A Figura 26 mostra o comportamento da variável GNIR com o filtro de 850nm com ponto mínimo a quantidade de 248,4 kg ha<sup>-1</sup> de N, proporcionando um índice de 1,03. Porém, esse resultado foi diferente do obtido por Sakamoto et al. (2012), que com o uso da câmera digital compacta Nikon COOLPIX P5100 e filtro de 830nm, encontraram para o milho no estádio de aproximadamente V6 - V7 o valor de 0,43 para o GNIR.

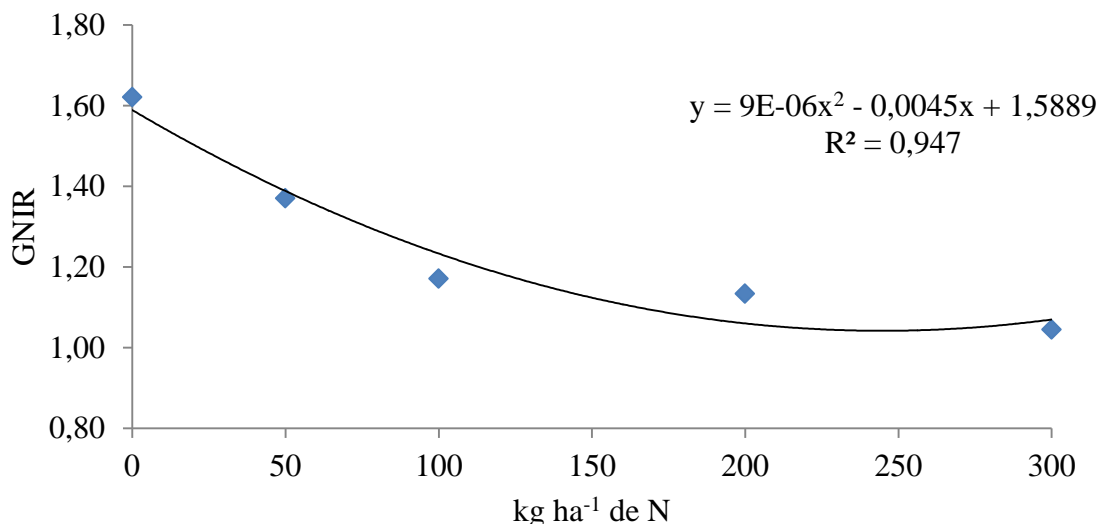


FIGURA 26 - Valores de GNIR médios com o uso do filtro de 850nm em função das doses de N aplicadas (45DAE).

O espectrorradiômetro gerou duas regressões significativas para o índice GNDVI e GNIR (Figura 27 e 28 respectivamente), tendo-se na primeira, um ponto de máximo de 179,5 kg ha<sup>-1</sup> de N gerando um índice GNDVI de 0,56, e a segunda um ponto de mínimo de 153,5 kg ha<sup>-1</sup> de N proporcionando um índice GNIR de 0,29. O GNDVI apresentou o ponto de máximo próximo ao encontrado por Solari (2006) de aproximadamente 0,55; este dado foi encontrado no milho no estádio V4 com o sensor “GreenSeeker” distante a 40 cm do alvo.

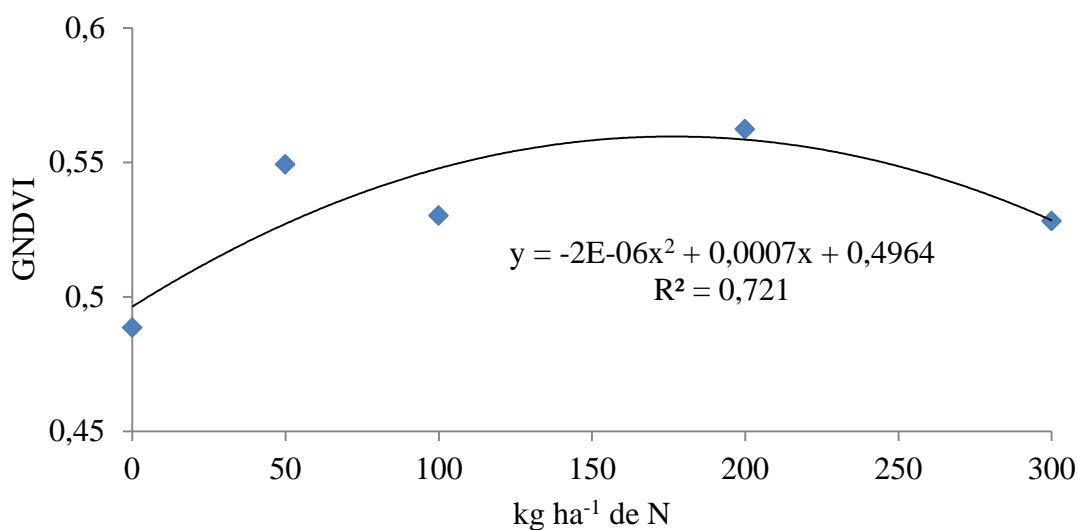


FIGURA 27 - Valores de GNDVI médios com o uso do espectrorradiômetro em função das doses de N aplicadas (45DAE).

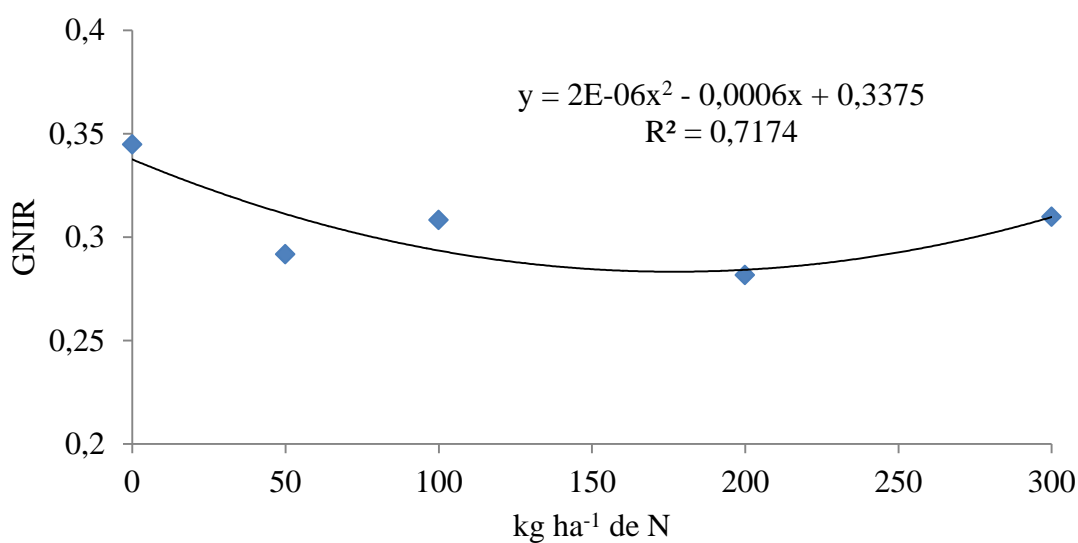


FIGURA 28 - Valores de GNIR médios com o uso do espectrorradiômetro em função das doses de N aplicadas, (45DAE).

A Tabela 9 apresenta os resultados dos pressupostos estatísticos básicos e da análise de variância para a regressão e falta de ajustamento aos 60DAE. Dessa forma, tem-se que os IV's para os três métodos apresentaram homogeneidade de variância e normalidade de distribuição, com exceção do índice RNIR para o espectrorradiômetro que obteve significância para o teste Levene, ou seja, sem homogeneidade de variância.

A falta de ajuste da regressão foram todas não significativas validando as regressões encontradas.

TABELA 9 – Resultado do teste F da análise de variância da regressão entre doses de N aplicadas e índices de vegetação para cada sensor utilizado ajustado aos 60DAE.

		60DAE				
	Índice de vegetação	Shapiro-Wilk	Levene	Falta de Ajuste	Regressão Linear	Regressão Quadrática
		$W_{calc}$	$F_{calc}$	$F_{calc}$	$F_{calc}$	$F_{calc}$
Filtro-720nm	GNDVI	0,963 <sup>ns</sup>	1,424 <sup>ns</sup>	0,436 <sup>ns</sup>	47,652*	29,056*
	NDVI	0,989 <sup>ns</sup>	1,694 <sup>ns</sup>	0,104 <sup>ns</sup>	23,175*	16,317*
	GNIR	0,982 <sup>ns</sup>	0,794 <sup>ns</sup>	0,124 <sup>ns</sup>	53,700*	35,502*
	RNIR	0,990 <sup>ns</sup>	1,063 <sup>ns</sup>	0,190 <sup>ns</sup>	24,923*	17,865*
Filtro-850nm	GNDVI	0,967 <sup>ns</sup>	1,788 <sup>ns</sup>	0,553 <sup>ns</sup>	44,099*	25,362*
	NDVI	0,981 <sup>ns</sup>	2,286 <sup>ns</sup>	0,064 <sup>ns</sup>	27,016*	16,480*
	GNIR	0,987 <sup>ns</sup>	2,013 <sup>ns</sup>	0,259 <sup>ns</sup>	47,144*	31,305*
	RNIR	0,966 <sup>ns</sup>	1,496 <sup>ns</sup>	0,024 <sup>ns</sup>	27,093*	19,604*
Espectrorradiômetro	GNDVI	0,983 <sup>ns</sup>	1,898 <sup>ns</sup>	1,381 <sup>ns</sup>	1,971 <sup>ns</sup>	10,400*
	NDVI	0,974 <sup>ns</sup>	2,459 <sup>ns</sup>	0,803 <sup>ns</sup>	0,000 <sup>ns</sup>	4,981*
	GNIR	0,982 <sup>ns</sup>	1,818 <sup>ns</sup>	1,381 <sup>ns</sup>	1,994 <sup>ns</sup>	11,073*
	RNIR	0,965 <sup>ns</sup>	2,634*	---	---	---

\* significativo ( $p < 0,05$ ); <sup>ns</sup> não significativo

A Tabela 10 apresenta o teste t para as estimativas dos parâmetros da regressão, sendo todas significativas, sendo portanto as regressões válidas, porém as regressões significativas dos índices GNDVI e NDVI encontradas com o uso do filtro de 850nm apresentaram CV classificado como muito alto; dessa forma, considerou-se as regressões como não válidas.

TABELA 10 – Estimativas dos parâmetros, erro padrão da média (EP) e teste t para os coeficientes de regressão dos modelos lineares ajustados aos 60DAE entre índices de vegetação e doses de N aplicadas para cada sensor utilizado.

		60DAE			
	Índice de vegetação	Variáveis		Estimativa	t
Filtro - 720nm	GNDVI	$\beta_0$	2,33E-02	2E-01	9,436*
		$\beta_1$	4,10E-04	3E-03	7,028*
		$\beta_2$	1,30E-06	-7E-06	-5,390*
	NDVI	$\beta_0$	2,89E-02	3E-01	10,085*
		$\beta_1$	5,10E-04	3E-03	5,172*
		$\beta_2$	1,62E-06	-7E-06	-4,039*
	GNIR	$\beta_0$	2,31E-02	6E-01	27,468*
		$\beta_1$	4,07E-04	-3E-03	-7,689*
		$\beta_2$	1,29E-06	8E-06	5,958*
	RNIR	$\beta_0$	2,74E-02	5E-01	20,021*
		$\beta_1$	4,83E-04	-3E-03	-5,400*
		$\beta_2$	1,54E-06	6E-06	4,227*
Filtro - 850nm	GNIR	$\beta_0$	3,18E-02	8E-01	25,795*
		$\beta_1$	5,61E-04	-4E-03	-7,216*
		$\beta_2$	1,78E-06	1E-05	5,595*
	RNIR	$\beta_0$	3,40E-02	7E-01	20,844*
		$\beta_1$	5,99E-04	-3E-03	-5,650*
		$\beta_2$	1,90E-06	8E-06	4,428*
Espectroradiômetro	GNDVI	$\beta_0$	1,53E-02	5E-01	31,250*
		$\beta_1$	2,70E-04	9E-04	3,482*
		$\beta_2$	8,60E-07	-3E-06	-3,225*
	NDVI	$\beta_0$	1,61E-02	5E-01	33,709*
		$\beta_1$	2,84E-04	6E-04	2,147*
		$\beta_2$	9,00E-07	-2E-06	-2,232*
	GNIR	$\beta_0$	1,32E-02	4E-01	26,905*
		$\beta_1$	2,33E-04	-8E-04	-3,583*
		$\beta_2$	7,40E-07	2E-06	3,328*

\* significativo ( $p < 0,05$ )

Analisando as Figuras dos 60DAE, tem-se que, em todas as regressões os IV's apresentaram comportamento quadrático e com  $R^2$  maiores de 75%.

Os coeficientes de determinação das imagens com o uso do filtro de 720nm e 850nm aos 60DAE foram mais altos que aqueles obtidos com o uso do espectroradiômetro. Tal fato



pode ser explicado pelas médias se ajustarem melhor as equações geradas para explicar a variável do que um único valor obtido pelo sensor.

No entanto esse  $R^2$  pode estar superestimado, pois os índices das imagens tiveram CV em torno de 21,76%, sendo classificados como alto, enquanto que, com o uso do espectrorradiômetro se obteve em média 11,81% classificado como médio. Desta forma tem-se, maior precisão no uso do espectrorradiômetro para detecção do N, já que ambas as regressões apresentaram significância a 0,05 de probabilidade. Além disso, tem-se maiores EP com o uso das imagem do que com o uso do espectrorradiômetro.

As Figuras 29, 30, 31 e 32 mostram o comportamento quadrático das variáveis GNDVI, NDVI, GNIR e RNIR respectivamente, que foram encontrados com o uso do filtro de 720nm. O GNDVI apresentou como ponto máximo 205,93 kg ha<sup>-1</sup> de N proporcionando um índice de 0,52. A variável NDVI teve como ponto de máximo 188,57 kg ha<sup>-1</sup> de N para um índice de 0,54. A variável GNIR apresentou como ponto de mínimo o valor de 195,75kg ha<sup>-1</sup> de N para gerar um índice de 0,33, e a variável RNIR apresentou um comportamento quadrático com ponto de mínimo de 217,5 kg ha<sup>-1</sup> de N para um índice de 0,26.

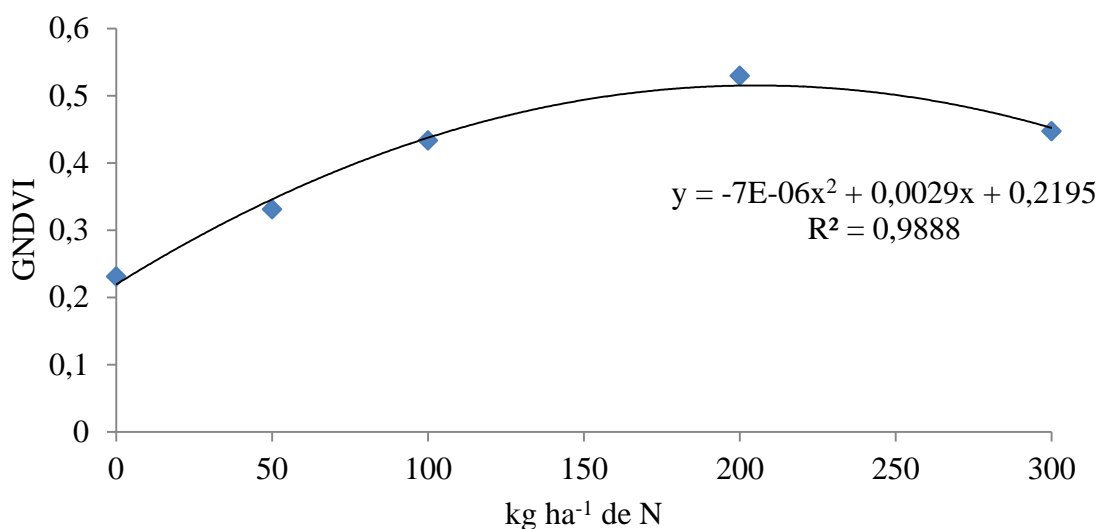


FIGURA 29 - Valores de GNDVI médios com o uso do filtro de 720nm em função das doses de N aplicadas, (60DAE).

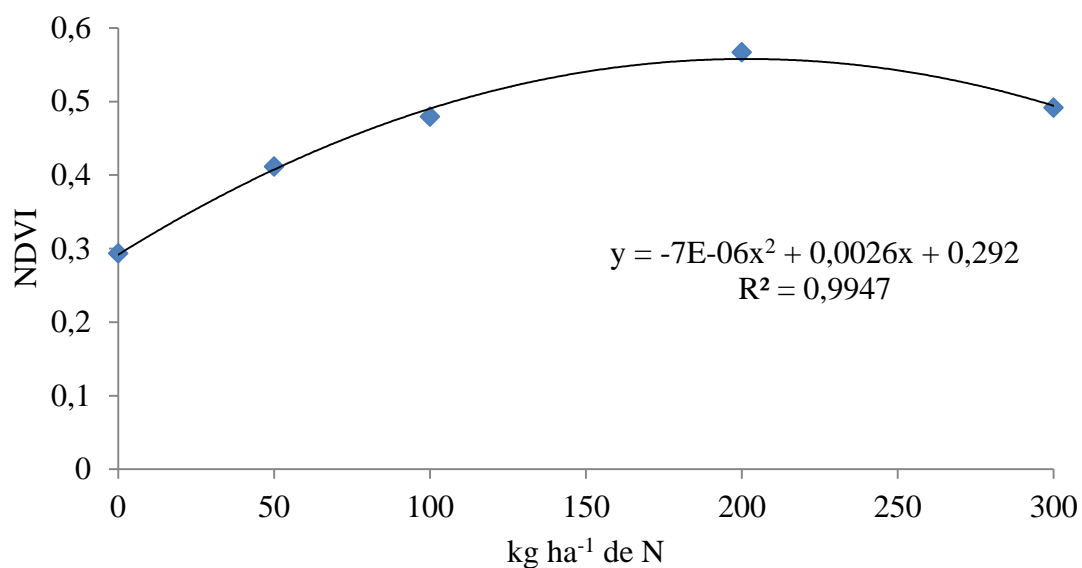


FIGURA 30 - Valores de NDVI médios com o uso do filtro de 720nm em função das doses de N aplicadas, (60DAE).

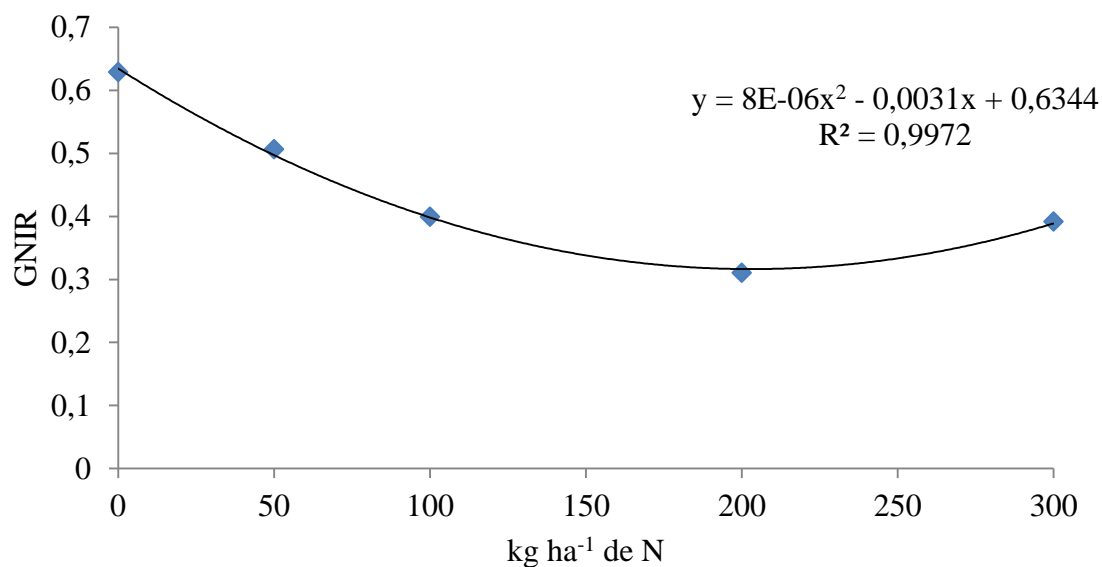


FIGURA 31 - Valores de GNIR médios com o uso do filtro de 720nm em função das doses de N aplicadas,(60DAE).

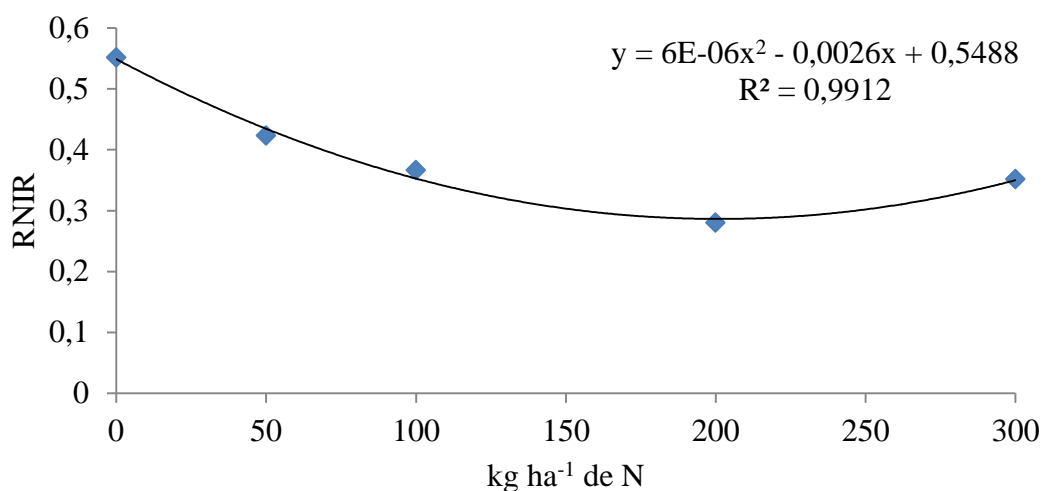


FIGURA 32 - Valores de RNIR médios com o uso do filtro de 720nm em função das doses de N aplicadas, (60DAE).

Nas Figuras 33 e 34 tem-se as representações dos IV's encontrados com o uso do filtro de 850nm em relação as doses de N aplicadas. Sendo respectivamente os índices GNIR e RNIR. O GNIR apresentou um ponto mínimo em 202,45 kg ha<sup>-1</sup> de N e índice de 0,41. O RNIR apresentou um ponto mínimo de 211,5 kg ha<sup>-1</sup> de N proporcionando um índice de 0,35. Porém, esse resultado foi diferente do obtido por Sakamoto et al. (2012) que com o uso da câmera digital compacta Nikon COOLPIX P5100 e filtro de 830nm, encontraram para o milho, no estágio de aproximadamente V8 – V10, o valor de 0,5 para o GNIR e de 0,58 para o RNIR.

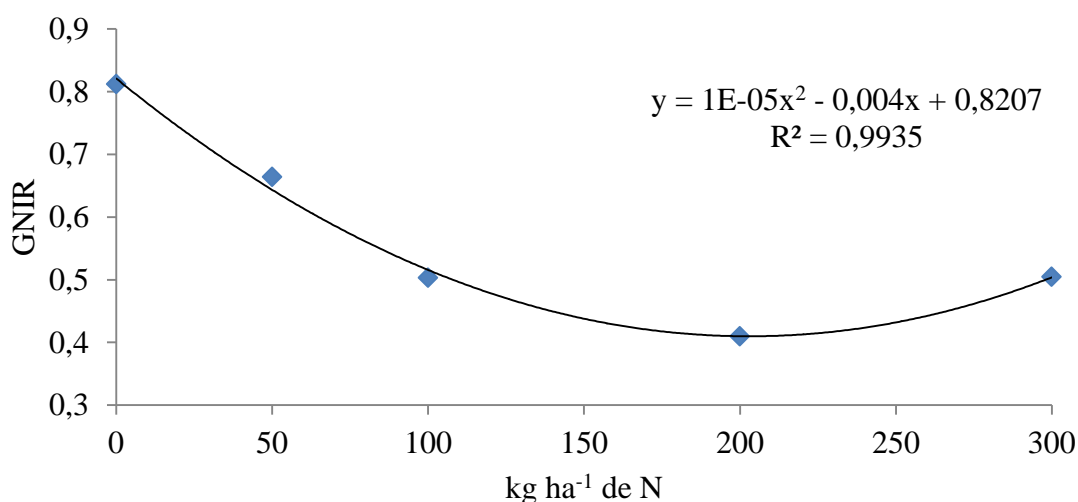


FIGURA 33 - Valores de GNIR médios com o uso do filtro de 850nm em função das doses de N aplicadas, (60DAE).

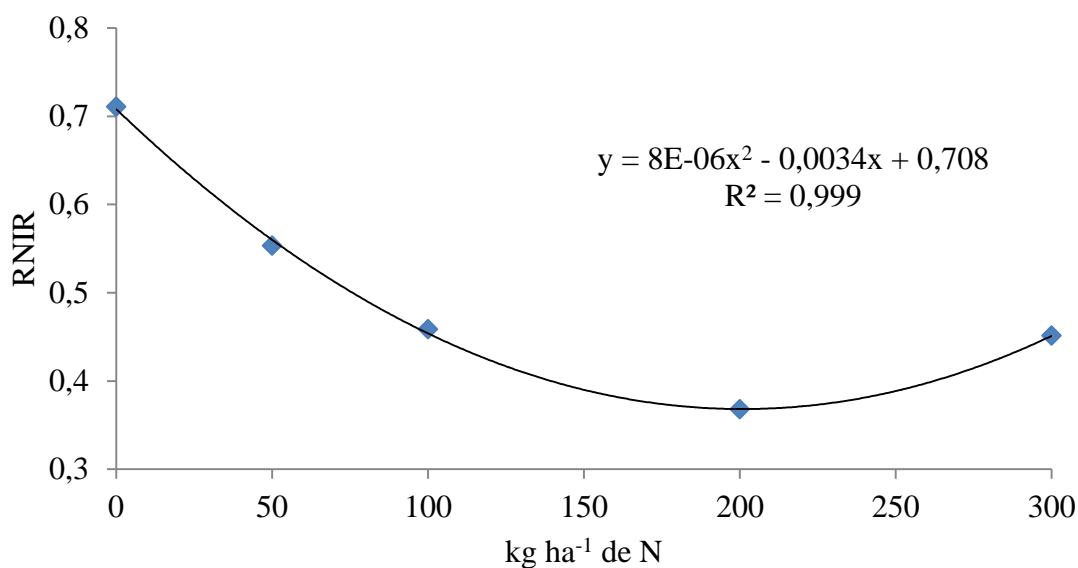


FIGURA 34 - Valores de RNIR médios com o uso do filtro de 850nm em função das doses de N aplicadas, (60DAE).

Nas Figuras 35, 36 e 37 tem-se as representações dos IV's encontrados com o uso do espectrorradiômetro em relação as doses de N aplicadas, sendo respectivamente os índices GNDVI, NDVI e GNIR.

O GNDVI apresentou, como ponto de máximo, o valor de 156,5 kg ha<sup>-1</sup> de N, gerando um índice de 0,55. A variável NDVI teve, como ponto de máximo, o valor 152,5 kg ha<sup>-1</sup> de N para gerar um índice de 0,59. A variável GNIR teve como ponto de mínimo o valor de 208,5 kg ha<sup>-1</sup> de N, proporcionando um índice de 0,27.

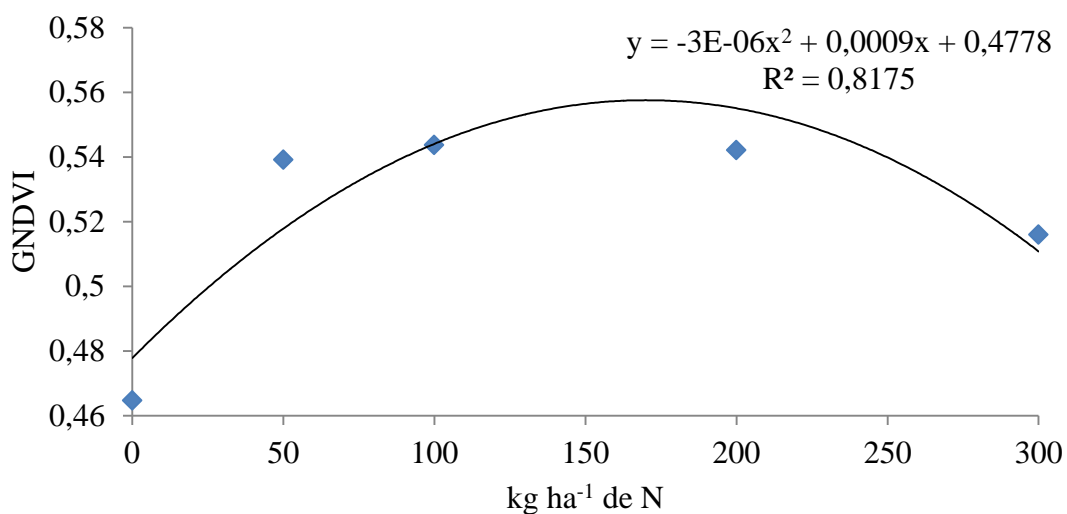


FIGURA 35 - Valores de GNDVI médios com o uso do espectrorradiômetro em função das doses de N aplicadas, (60DAE).

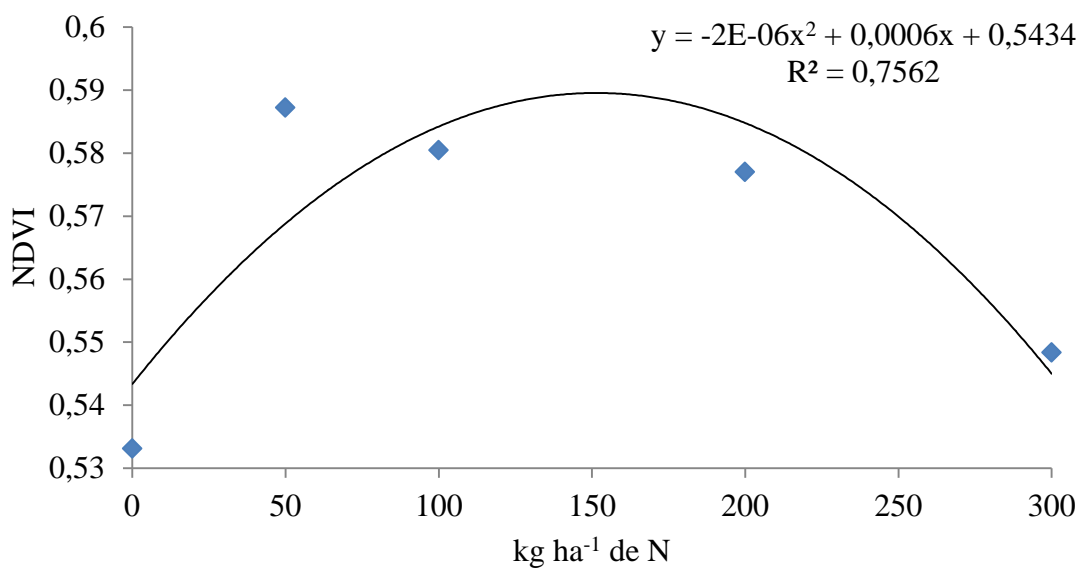


FIGURA 36 – Valores de NDVI médios com o uso do espectralradiômetro em função das doses de N aplicadas, (60DAE).

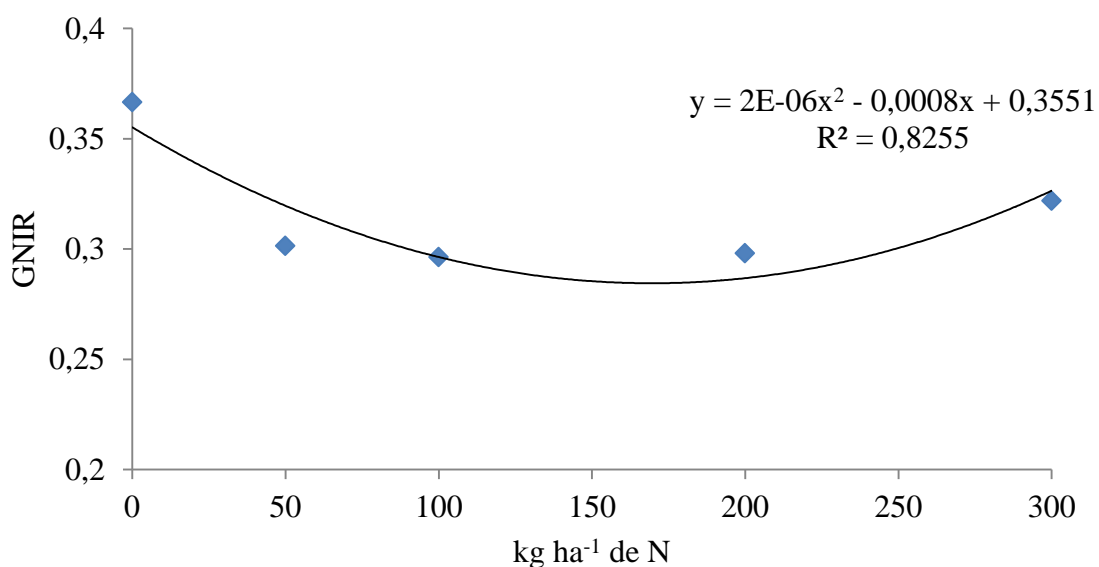


FIGURA 37 – Valores de GNIR médios com o uso do espectralradiômetro em função das doses de N aplicadas, (60DAE).

Na Tabela 11 tem-se os resultados de normalidade de distribuição e homogeneidade de variância, além da análise de variância da regressão; dessa forma, aos 80DAE somente o índice NDVI com o filtro de 720nm não obteve homogeneidade de variância; os demais apresentaram valores não significativos para os dois testes, tendo normalidade dos erros e

homogeneidade. Todos os devios de regressão também foram não significativos validando as regressões significativas encontradas, com excessão do índice RNIR com o filtro de 720nm que apresentou significância para a falta de ajustamento, o que pode-se dizer que existem melhores modelos para explicar a variável.

A Tabela 12 apresenta o teste t para as estimativas dos parâmetros das regressões significativas. Dessa forma, todas as regressões encontradas foram válidas.

TABELA 11 – Resultado do teste F da análise de variância da regressão entre doses de N aplicadas e índices de vegetação para cada sensor utilizado ajustado aos 80DAE.

		80DAE				
	Índice de vegetação	Shapiro-Wilk	Levene	Falta de Ajuste	Regressão Linear	Regressão Quadrática
		W <sub>calc</sub>	F <sub>calc</sub>	F <sub>calc</sub>	F <sub>calc</sub>	F <sub>calc</sub>
Filtro-720nm	GNDVI	0,981 <sup>ns</sup>	2,435 <sup>ns</sup>	0,758 <sup>ns</sup>	56,834 <sup>*</sup>	31,340 <sup>*</sup>
	NDVI	0,990 <sup>ns</sup>	3,358 <sup>*</sup>	---	---	---
	GNIR	0,982 <sup>ns</sup>	1,174 <sup>ns</sup>	1,653 <sup>ns</sup>	65,489 <sup>*</sup>	37,529 <sup>*</sup>
	RNIR	0,980 <sup>ns</sup>	1,195 <sup>ns</sup>	3,819 <sup>*</sup>	55,895 <sup>*</sup>	59,928 <sup>*</sup>
Filtro-850nm	GNDVI	0,966 <sup>ns</sup>	1,339 <sup>ns</sup>	1,221 <sup>ns</sup>	87,084 <sup>*</sup>	50,606 <sup>*</sup>
	NDVI	0,974 <sup>ns</sup>	1,954 <sup>ns</sup>	2,367 <sup>ns</sup>	52,085 <sup>*</sup>	46,515 <sup>*</sup>
	GNIR	0,979 <sup>ns</sup>	0,504 <sup>ns</sup>	0,810 <sup>ns</sup>	96,429 <sup>*</sup>	57,131 <sup>*</sup>
	RNIR	0,984 <sup>ns</sup>	0,681 <sup>ns</sup>	29,650 <sup>ns</sup>	63,299 <sup>*</sup>	54,495 <sup>*</sup>
Espectrorradiômetro	GNDVI	0,973 <sup>ns</sup>	1,055 <sup>ns</sup>	1,655 <sup>ns</sup>	127,711 <sup>*</sup>	76,733 <sup>*</sup>
	NDVI	0,968 <sup>ns</sup>	0,682 <sup>ns</sup>	1,901 <sup>ns</sup>	85,144 <sup>*</sup>	62,861 <sup>*</sup>
	GNIR	0,965 <sup>ns</sup>	0,847 <sup>ns</sup>	2,760 <sup>ns</sup>	135,744 <sup>*</sup>	83,310 <sup>*</sup>
	RNIR	0,967 <sup>ns</sup>	1,476 <sup>ns</sup>	2,598 <sup>ns</sup>	86,612 <sup>*</sup>	64,667 <sup>*</sup>

\* significativo (p<0,05); <sup>ns</sup> não significativo

TABELA 12 – Estimativas dos parâmetros, erro padrão da média (EP) e teste t para os coeficientes de regressão dos modelos lineares ajustados aos 80DAE entre índices de vegetação e doses de N aplicadas para cada sensor utilizado.

		80DAE			
	índice de vegetação	variáveis	EP	Estimativa	t
Filtro - 720nm	GNDVI	$\beta_0$	1,94E-02	2,34E-01	12,06*
		$\beta_1$	3,42E-04	2,53E-03	7,40*
		$\beta_2$	1,09E-06	-6,00E-06	-5,60*
	GNIR	$\beta_0$	1,98E-02	6,21E-01	31,42*
		$\beta_1$	3,49E-04	-2,81E-03	-8,05*
		$\beta_2$	1,11E-06	7,00E-06	6,13*
Filtro - 850nm	GNDVI	$\beta_0$	1,74E-02	7,69E-02	4,43*
		$\beta_1$	3,07E-04	2,86E-03	9,33*
		$\beta_2$	9,70E-07	-7,00E-06	-7,11*
	NDVI	$\beta_0$	1,95E-02	1,80E-01	9,25*
		$\beta_1$	3,44E-04	2,92E-03	8,49*
		$\beta_2$	1,09E-06	-7,00E-06	-6,82*
	GNIR	$\beta_0$	2,22E-02	8,49E-01	38,22*
		$\beta_1$	3,92E-04	-3,87E-03	-9,89*
		$\beta_2$	1,24E-06	9,00E-06	7,56*
	RNIR	$\beta_0$	2,07E-02	6,90E-01	33,34*
		$\beta_1$	3,65E-04	-3,37E-03	-9,23*
		$\beta_2$	1,16E-06	9,00E-06	7,38*
Espectrorradiômetro	GNDVI	$\beta_0$	9,46E-03	3,83E-01	40,44*
		$\beta_1$	1,67E-04	1,91E-03	11,44*
		$\beta_2$	5,30E-07	-5,00E-06	-8,76*
	NDVI	$\beta_0$	8,72E-03	4,78E-01	54,85*
		$\beta_1$	1,54E-04	1,55E-03	10,09*
		$\beta_2$	4,90E-07	-4,00E-06	-7,93*
	GNIR	$\beta_0$	8,46E-03	4,46E-01	52,69*
		$\beta_1$	1,49E-04	-1,77E-03	-11,89*
		$\beta_2$	4,70E-07	4,00E-06	9,13*
	RNIR	$\beta_0$	7,27E-03	3,53E-01	48,57*
		$\beta_1$	1,28E-04	-1,31E-03	-10,22*
		$\beta_2$	4,10E-07	3,00E-06	8,04*

\* significativo ( $p < 0,05$ )

As Figuras 38 e 39 mostram as regressões geradas a partir dos IV's adquiridos com o uso das imagens capturadas com o filtro de 720nm com relação as doses de N aplicadas, mostrando o comportamento quadrático das variáveis GNDVI e GNIR respectivamente,

tendo no GNDVI, um ponto de máximo de 210,75 kg.ha<sup>-1</sup> de N para um índice de 0,5, no GNIR um ponto de mínimo de 200,5 kg.ha<sup>-1</sup> de N para um índice de 0,34.

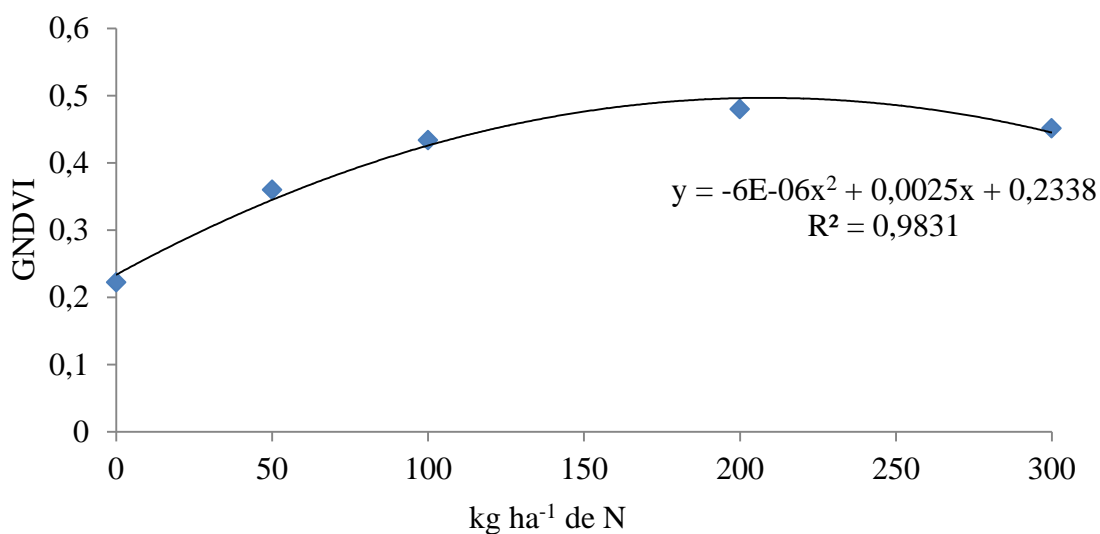


FIGURA 38 - Valores de GNDVI médios com o uso do filtro de 720nm em função das doses de N aplicadas, (80DAE).

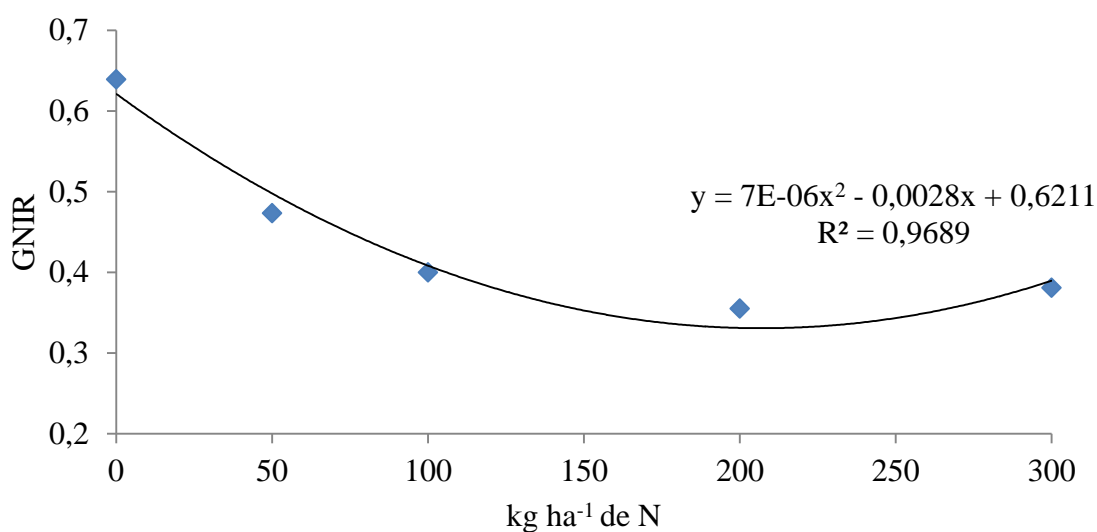


FIGURA 39 - Valores de GNIR médios com o uso do filtro de 720nm em função das doses de N aplicadas, (80DAE).

As Figuras 40, 41, 42 e 43 mostram as regressões geradas a partir dos índices de vegetação adquiridos com o uso das imagens capturadas com o filtro de 850nm com relação as doses de N aplicadas, mostrando GNDVI, NDVI, GNIR e RNIR respectivamente, tendo, no GNDVI, um ponto de máximo de 204,43 kg ha<sup>-1</sup> de N para um índice de 0,37, no NDVI



um ponto de máximo de 208,64 kg ha<sup>-1</sup> de N para um índice de 0,49, no GNIR um ponto de mínimo de 215,22 kg ha<sup>-1</sup> de N para um índice de 0,43 e no RNIR um ponto de mínimo de 187,06 kg ha<sup>-1</sup> de N para um índice de 0,37. Porém, esses resultados foram diferentes do obtido por Sakamoto, et al. (2012) encontraram para o milho no estágio de aproximadamente V12 – V15 o valor de 0,37 para NDVI, 0,47 para RNIR e 0,58 para o GNIR.

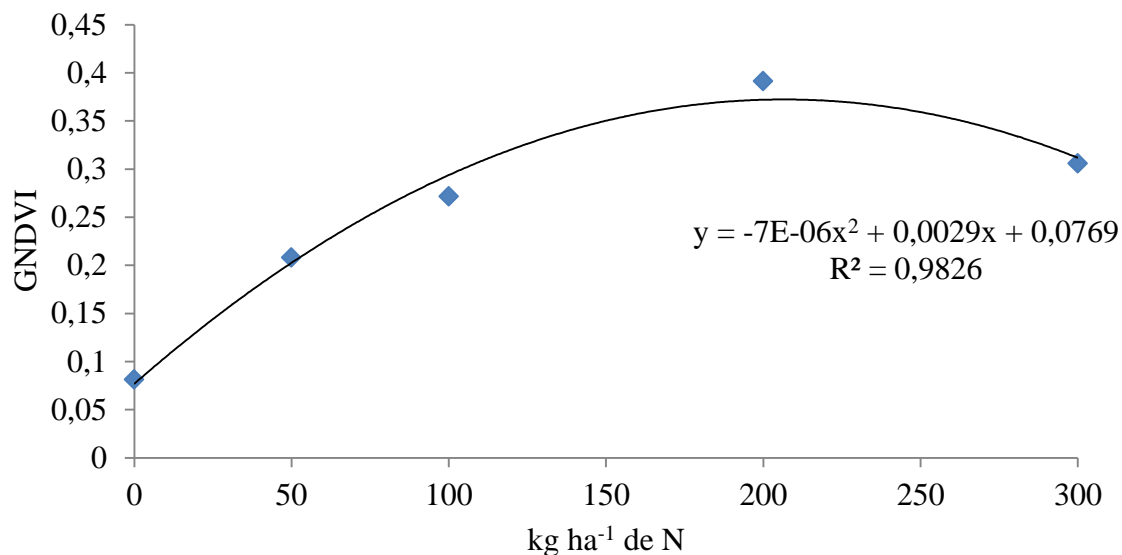


FIGURA 40 - Valores de GNDVI médios com o uso do filtro de 850nm em função das doses de N aplicadas, (80DAE).

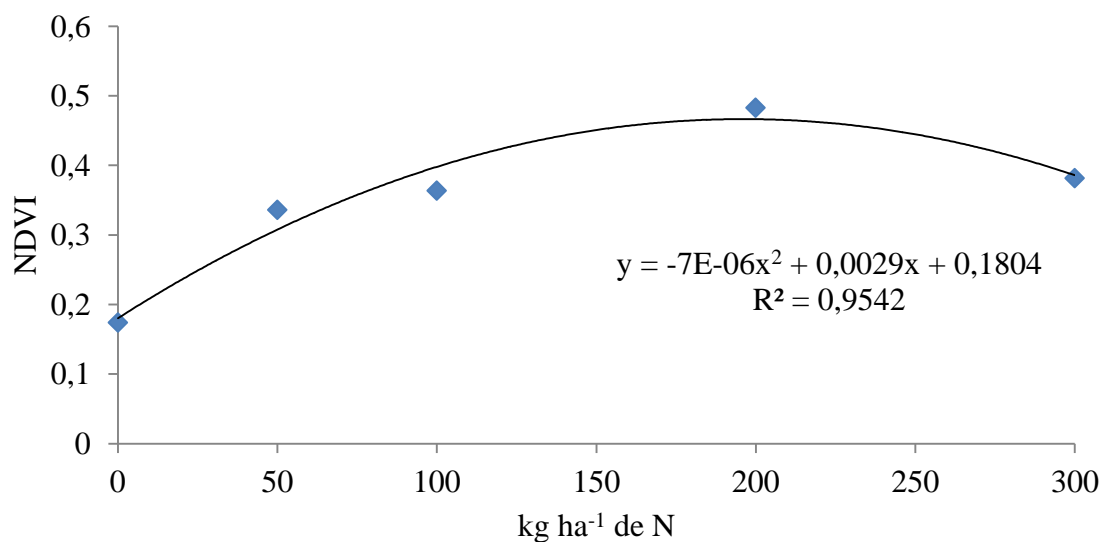


FIGURA 41 - Valores de NDVI médios com o uso do filtro de 850nm em função das doses de N aplicadas, (80DAE).

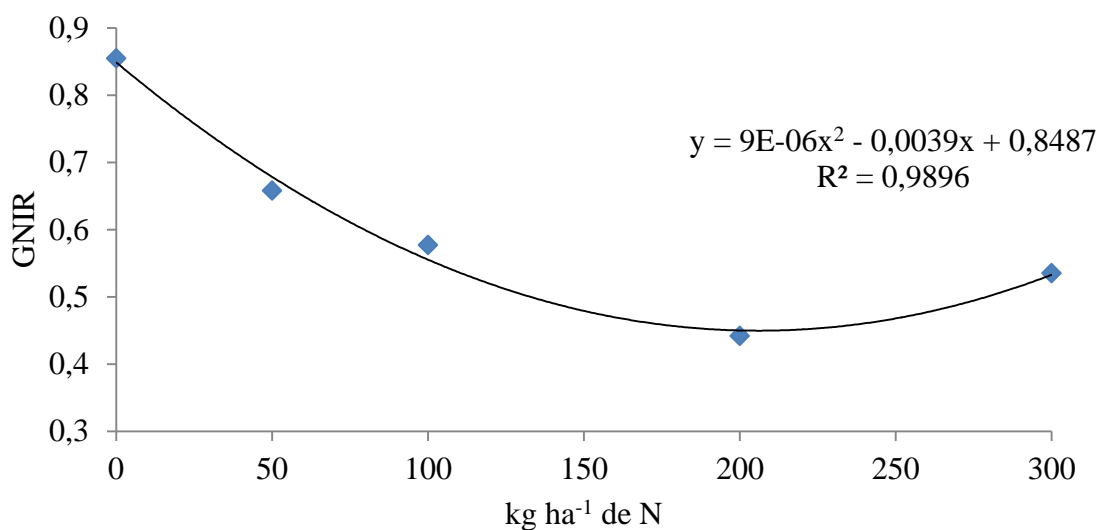


FIGURA 42 - Valores de GNIR médios com o uso do filtro de 850nm em função das doses de N aplicadas, (80DAE).

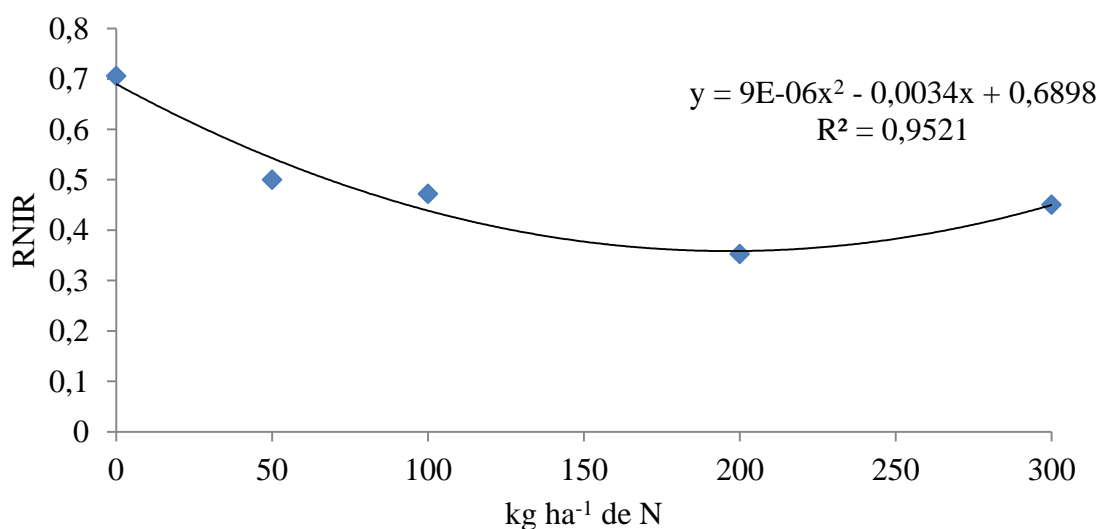


FIGURA 43 - Valores de RNIR médios com o uso do filtro de 850nm em função das doses de N aplicadas, (80DAE).

As Figuras 44, 45, 46 e 47 mostram as regressões geradas a partir dos IV's adquiridos com o uso do espectroradiômetro com relação as doses de N aplicadas, mostrando o comportamento quadrático das variáveis GNDVI, NDVI, GNIR e RNIR respectivamente, tendo no GNDVI um ponto de máximo de 190,9 kg ha<sup>-1</sup> de N para um índice de 0,56, no NDVI um ponto de máximo de 194,13 kg ha<sup>-1</sup> de N para um índice de 0,63, no GNIR um ponto de mínimo de 221,75 kg ha<sup>-1</sup> de N para um índice de 0,25 e no RNIR um ponto de

mínimo de 218,33 kg ha<sup>-1</sup> de N para um índice de 0,21. Segundo Hatfield (2010), em sua pesquisa com milho, diferentemente do encontrado com o espectrorradiômetro, obteve valores máximos para NDVI de 0,9 durante o período de crescimento vegetativo máximo com o uso de um radiômetro de oito bandas CropScan. De acordo com Souza, et al. (2009) no estágio V12-V15 do milho, com o uso do radiômetro Crop Circle obteve-se em média valores de NDVI 0,78; 0,82; 0,84, para o GNDVI obteve-se 0,6; 0,71; 0,76, com GNIR obteve os valores de 0,24; 0,16 e 0,13 e para o RNIR valores de 0,11; 0,1; 0,08 com as respectivas doses de N 90, 180 e 270 kg ha<sup>-1</sup>. Li et al. (2014) encontraram com uso do sensor Crop Circle em média dos estádios V6-V12, valores de NDVI de 0,7 e 0,9, para GNDVI valores de 0,75 e 0,83, e para RNIR valores de 0,06 e 0,04 para as respectivas doses de N 50 e 100 kg ha<sup>-1</sup>.

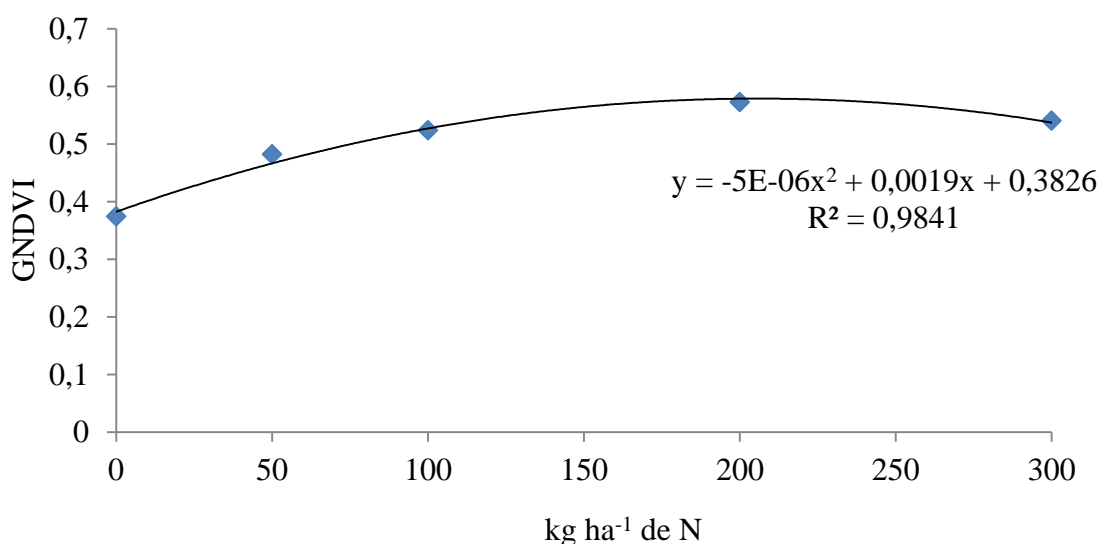


FIGURA 44 - Valores de GNDVI médios com o uso do espectrorradiômetro em função das doses de N aplicadas, (80DAE).

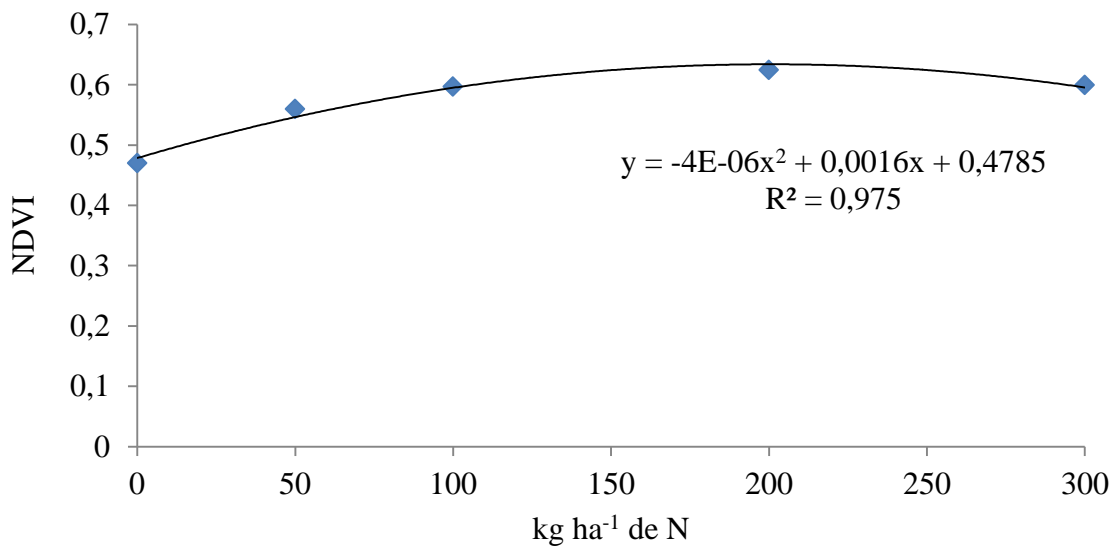


FIGURA 45 - Valores de NDVI médios com o uso do espectrorradiômetro em função das doses de N aplicadas, (80DAE).

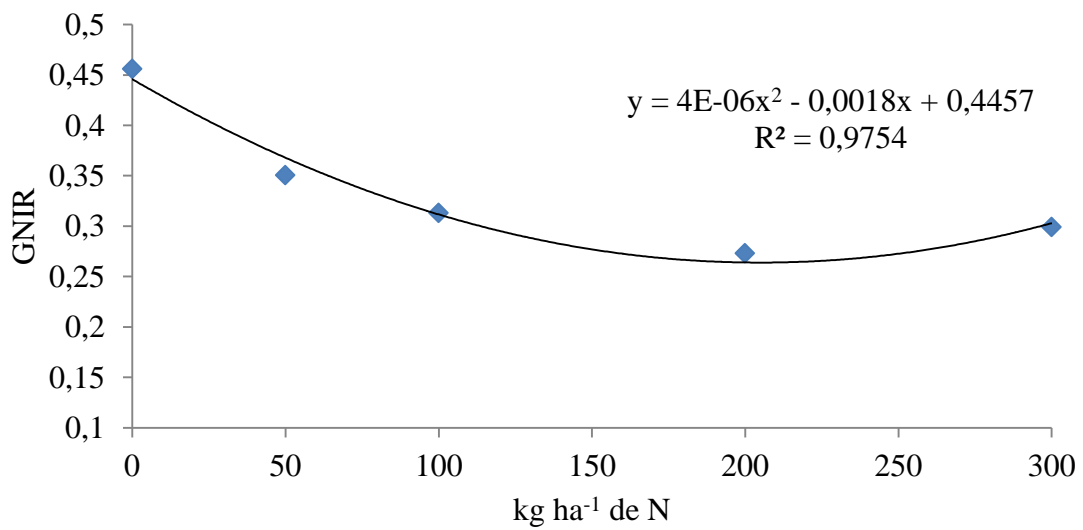


FIGURA 46 - Valores de GNIR médios com o uso do espectrorradiômetro em função das doses de N aplicadas, (80DAE).

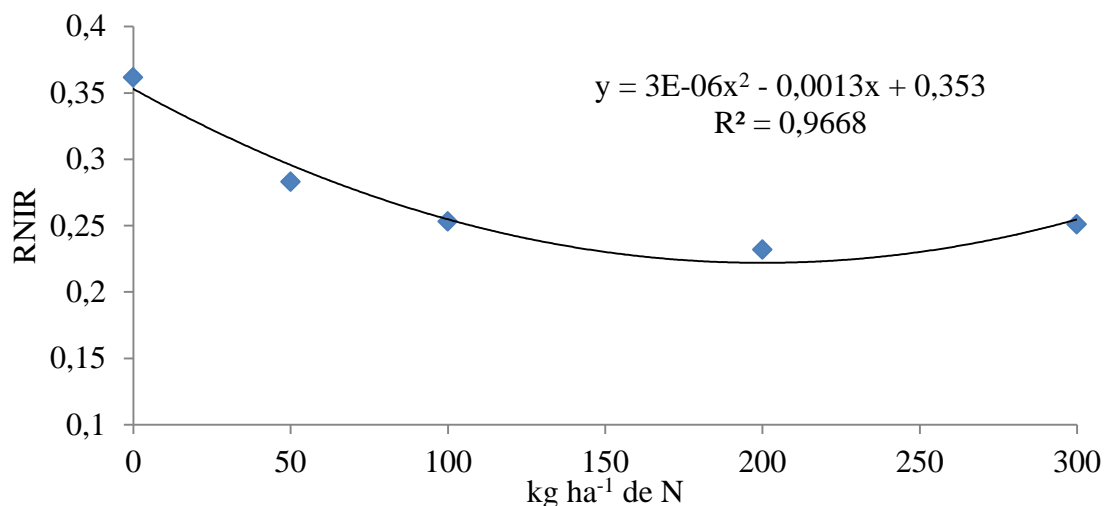


FIGURA 47 - Valores de RNIR médios com o uso do espectrorradiômetro em função das doses de N aplicadas, (80DAE).

O comportamento quadrático dos IV's em relação às doses de N aplicadas se deve ao fato de que os índices apresentam boa correlação com o teor de clorofila presente nas folhas das plantas, sendo dessa forma indiretamente relacionado ao teor de N. Segundo Bullock & Anderson (1998), a coloração verde das folhas acontece devido a presença da clorofila; com isso, o aumento da disponibilidade de N para as plantas gera um aumento na quantidade de clorofila presente, melhorando a percepção da cor verde da folha. Esse aumento da clorofila apresenta um comportamento quadrático, gerando o mesmo comportamento com os índices espectrais, pois apresenta um ponto de máximo chamado de ponto de maturidade fotossintética, a partir do qual se mantém invariável, mesmo com o aumento da concentração de N no tecido. Além disso, o comportamento curvilíneo do crescimento vegetal fez com que os índices de vegetação apresentassem um melhor ajuste na análise de regressão com a utilização do modelo linear de segundo grau.

Os IV's, em geral, apresentaram ligeiro decréscimo no caso dos índices GNDVI e NDVI, e um ligeiro acréscimo no caso dos índices GNIR e RNIR com a aplicação de doses superiores a 200 kg ha<sup>-1</sup> de N, o que pode estar relacionado à possibilidade de desequilíbrio nutricional da planta com altas doses de N aplicadas (DOUGHERTY & RHYKERD, 1985). Resultados semelhantes foram encontrados por Cunha (2004), que observou que dosagens acima de 1.500 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N parceladas em sete aplicações, tendem a reduzir os valores do NDVI do capim-tanzânia, devido, possivelmente, a influência negativa dos fatores relacionados ao excesso de N.

Os maiores coeficientes de determinação em todos os DAE foram encontrados no GNDVI e GNIR. Segundo Gitelson et al. (1996), o GNDVI apresenta uma escala dinâmica maior que a do NDVI e é, em média, pelo menos cinco vezes mais sensível à concentração de clorofila na planta. O GNDVI utiliza a banda verde na sua formação. Sena Jr. et al.(2008) ressaltaram a importância do uso da banda verde para a discriminação dos estágios nutricionais de N na cultura do trigo, com o uso de um sistema de visão artificial para realização da estimativa da resposta espectral do dossel. Resultados similares foram encontrados por Silva Jr. et al. (2007), no qual concluíram que o uso dos índices calculados com a banda verde, extraídos de imagens digitais, foram mais eficientes para a determinação do teor de N foliar de pastagem do que os índices calculados com a banda vermelha, em todos os períodos estudados.

#### 4.5. AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO DO ESPECTRORADIÔMETRO E OS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO DAS IMAGENS INFRAVERMELHAS OBTIDAS COM FILTROS DE 720nm E 850nm.

Com base nas Tabelas 13 e 14 pode-se verificar que os coeficientes de correlação de Pearson ( $r$ ) aumentaram no decorrer do tempo, ou seja, as melhores correlações entre os índices do espectroradiômetro e os IV's obtidos por meio das imagens foram encontradas aos 80DAE e as piores correlações aos 15DAE.

Conforme a deficiência de N aumenta, os valores do espectroradiômetro em relação as imagens se correlacionaram melhor. Dessa forma, o uso da câmera para detecção da deficiência de N no milho pôde ser utilizada nos 60DAE e 80DAE, em que houve correlação significativa em todos os índices estudados, sendo que, com o uso do filtro de 720nm, as correlações foram maiores que com o uso do filtro de 850nm.

A baixa correlação entre os índices nos primeiros estágios de desenvolvimento do milho pode ser explicado devido ao alto CV das amostras nas primeiras avaliações com o uso da câmera. Isso se deve, provavelmente, ao pequeno preenchimento do campo da imagem pelas folhas de milho, pois, para estabelecer um padrão metodológico para obtenção das imagens, algumas áreas não preencheram o campo de visada, apresentando áreas escuras de fundo que pode ter influenciado nos valores dos pixels referentes as folhas captadas nas imagens.

Com o decorrer do desenvolvimento da planta de milho, o campo de visada foi ficando praticamente preenchido apenas com temas referente as folhas que, no infravermelho, apresentam reflectância elevada.

Apesar do experimento ter sido conduzido em casa de vegetação com condições de temperatura e luminosidade controlada, há possibilidade de ocorrer pequenas variações causadas pela mudança na radiação solar incidente e nas temperaturas o que poderia, de certa forma, imutar erros indesejáveis.

O uso do filtro de 720nm proporcionou imagens com mais brilho que as imagens obtidas com o filtro de 850nm, de forma coerentemente ao fato anteriormente explicado, as imagens com o uso do filtro de 720nm, apresentaram melhores correlações do que aquelas com menor brilho, quando utilizado o filtro de 850nm.

TABELA 13 – Coeficientes de correlação de Pearson e teste t entre índices de vegetação encontrados pelo uso do espectroradiômetro e pelo uso do filtro de 720nm.

IV's do espectroradiômetro vs IV's das imagem com filtro de 720nm									
	Dose de N	GNDVI	NDVI	RNIR	GNIR				
15DAE	0	0,50	ns	0,51	ns	0,50	ns	0,48	ns
	50	0,67	*	0,61	*	0,61	*	0,67	*
	100	0,34	ns	0,25	ns	0,25	ns	0,36	ns
	200	0,29	ns	0,23	ns	0,22	ns	0,27	ns
	300	0,60	*	0,54	ns	0,54	ns	0,60	*
30DAE	0	0,16	ns	0,25	ns	0,26	ns	0,18	ns
	50	0,30	ns	0,57	*	0,55	ns	0,25	ns
	100	0,59	*	0,38	ns	0,48	ns	0,58	*
	200	0,63	*	0,71	*	0,71	*	0,65	*
	300	0,68	*	0,38	ns	0,41	ns	0,68	*
45DAE	0	0,42	ns	0,41	ns	0,34	ns	0,40	ns
	50	0,72	**	0,59	*	0,60	*	0,73	**
	100	0,67	*	0,73	**	0,33	ns	0,63	*
	200	0,91	**	0,67	*	0,68	*	0,90	**
	300	0,61	*	0,59	*	0,64	*	0,62	*
60DAE	0	0,72	**	0,71	*	0,66	*	0,71	*
	50	0,91	**	0,87	**	0,88	**	0,91	**
	100	0,78	**	0,67	*	0,70	*	0,78	**
	200	0,79	**	0,84	**	0,87	**	0,78	**
	300	0,84	**	0,66	*	0,63	*	0,82	**
80DAE	0	0,76	**	0,77	**	0,76	**	0,77	**
	50	0,89	**	0,87	**	0,87	**	0,89	**
	100	0,77	**	0,77	**	0,74	**	0,78	**
	200	0,87	**	0,69	*	0,67	*	0,87	**
	300	0,83	**	0,73	**	0,74	**	0,85	**

\*\* significativo (p<0,01); \* significativo (p<0,05); ns não significativo

TABELA 14 – Coeficientes de correlação de pearson e teste t entre índices de vegetação encontrados pelo uso do espectrorradiômetro e pelo uso do filtro de 850nm.

IV's do espectrorradiômetro vs IV's das imagem com filtro de 850nm									
	Dose de N	GNDVI		NDVI		RNIR		GNIR	
15DAE	0	0,20	ns	0,35	ns	0,33	ns	0,18	ns
	50	0,78	**	0,72	**	0,74	**	0,81	**
	100	0,67	*	0,64	*	0,58	*	0,62	*
	200	0,16	ns	0,07	ns	0,04	ns	0,13	ns
	300	0,01	ns	0,06	ns	0,04	ns	0,00	ns
30DAE	0	0,12	ns	0,20	ns	0,23	ns	0,17	ns
	50	0,22	ns	0,46	ns	0,44	ns	0,18	ns
	100	0,69	*	0,52	ns	0,52	ns	0,69	*
	200	0,35	ns	0,44	ns	0,42	ns	0,35	ns
	300	0,62	*	0,50	ns	0,52	ns	0,61	*
45DAE	0	0,37	ns	0,42	ns	0,33	ns	0,31	ns
	50	0,68	*	0,52	ns	0,62	*	0,68	*
	100	0,64	*	0,32	ns	0,22	ns	0,61	*
	200	0,58	*	0,59	*	0,60	*	0,58	*
	300	0,59	*	0,69	*	0,74	**	0,60	*
60DAE	0	0,61	*	0,62	*	0,56	*	0,62	*
	50	0,91	**	0,90	**	0,90	**	0,91	**
	100	0,70	*	0,80	**	0,79	**	0,70	*
	200	0,68	*	0,83	**	0,84	**	0,65	*
	300	0,82	**	0,69	*	0,66	*	0,81	**
80DAE	0	0,69	*	0,65	*	0,65	*	0,71	*
	50	0,91	**	0,93	**	0,92	**	0,91	**
	100	0,73	**	0,65	*	0,66	*	0,75	**
	200	0,66	*	0,72	**	0,71	*	0,69	*
	300	0,84	**	0,63	*	0,64	*	0,86	**

\*\* significativo (p<0,01); \* significativo (p<0,05); ns não significativo

#### 4.6. AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO DAS IMAGENS NO INFRAVERMELHO COM FILTRO DE 720nm E DE 850nm E OS ÍNDICES DO ESPECTRORADIÔMETRO COM O TEOR DE NITROGÊNIO FOLIAR, MASSA FRESCA, MASSA SECA E ÁREA FOLIAR.

Em geral, as correlações de Pearson (r) entre as variáveis foram altas, e de acordo Meneses & Madeira Neto (2001) e Gitelson (2004) se fossem avaliadas essas correlações no tempo teria-se como tendência a redução das correlações com o avanço dos dias após a adubação, pois constataram que o aumento do número de folhas na planta pelo seu



desenvolvimento leva à saturação nos valores dos índices de vegetação e a consequente diminuição de resposta.

Analisando a Tabela 15, observa-se que a massa seca apresentou 50% de r ( $p<0,01$ ), 20% de r ( $p<0,05$ ) e 30% de r não significativas. A área foliar apresentou 60% de r com ( $p<0,01$ ), 30% de r ( $p<0,05$ ) e 10% não se correlacionaram significativamente.

A variável massa fresca obteve 35% de r ( $p<0,01$ ), 55% de r ( $p<0,05$ ) e 10% das r não apresentaram significância. O teor de nitrogênio foliar apresentou 35% de r ( $p<0,01$ ), 55% de r ( $p<0,05$ ) e 10% das r não apresentaram correlação significativa.

Dessa forma, observa-se que a variável que apresentou maiores quantidades de correlações significativas foi a variável área foliar e, com menores correlações, foi a massa seca.

TABELA 15 - Correlação de Pearson e teste t para os índices de vegetação obtidos por meio das imagens extraídas com o uso do filtro de 720nm, a cada atributo avaliado no milho nas diferentes doses de N aplicadas.

Dose de N	Índices da imagem - Filtro 720nm								
	GNDVI		NDVI		RNIR		GNIR		
MS	0	0,53	ns	0,83	**	-0,84	**	-0,53	ns
	50	0,79	**	0,87	**	-0,88	**	-0,80	**
	100	0,77	**	0,78	**	-0,79	**	-0,77	**
	200	0,55	*	0,52	ns	-0,51	ns	-0,55	*
	300	0,66	*	0,41	ns	-0,42	ns	-0,67	*
AF	0	0,81	**	0,91	**	-0,92	**	-0,81	**
	50	0,79	**	0,84	**	-0,82	**	-0,77	**
	100	0,78	**	0,78	**	-0,82	**	-0,78	**
	200	0,68	*	0,65	*	-0,64	*	-0,68	*
	300	0,65	*	0,38	ns	-0,39	ns	-0,66	*
MF	0	0,58	*	0,78	**	-0,78	**	-0,58	*
	50	0,59	*	0,72	**	-0,72	**	-0,59	*
	100	0,60	*	0,61	*	-0,72	**	-0,60	*
	200	0,71	*	0,68	*	-0,67	*	-0,71	*
	300	0,79	**	0,51	ns	-0,51	ns	-0,80	**
NF	0	0,76	**	0,80	**	-0,78	**	-0,74	**
	50	0,69	*	0,76	**	-0,75	**	-0,67	*
	100	0,71	*	0,71	*	-0,83	**	-0,70	*
	200	0,62	*	0,64	*	-0,64	*	-0,61	*
	300	0,66	*	0,38	ns	-0,38	ns	-0,67	*

\*\* significativo ( $p<0,01$ ); \* significativo ( $p<0,05$ ); ns não significativo

Na Tabela 16 tem-se as correlações obtidas aos 80DAE entre os índices obtidos por meio das imagens que foram capturadas com o uso do filtro de 850nm e os atributos avaliados do milho nas diferentes doses de N. Analisando-a, tem-se que para o componente massa seca, 40% dos coeficientes apresentaram r (p<0,01), 30% de r (p<0,05) e 30% dos índices não se correlacionaram significativamente.

A área foliar apresentou 60% de r (p<0,01), 30% com r (p<0,05) e 10% não apresentaram significância. Com relação a massa fresca observa-se que 30% das correlações apresentaram r (p<0,01), 30% com r (p<0,05) e 40% não tiveram correlação significativa.

O nitrogênio foliar obteve 30% de correlações com r (p<0,01), 25% com r (p<0,05) e 45% não se correlacionaram significativamente.

Dessa forma, observa-se que a área foliar foi a variável que obteve as maiores quantidades de correlações significativas, e a variável nitrogênio foliar foi aquela que obteve menores quantidades de correlação significativa.

TABELA 16 - Correlação de Pearson e teste t para os índices de vegetação obtidos por meio das imagens extraídas com o uso do filtro de 850nm, a cada atributo avaliado do milho nas diferentes doses de N aplicado.

Dose de N	Índices da imagem - Filtro 850nm				
	GNDVI	NDVI	RNIR	GNIR	
MS	0	0,51 <sup>ns</sup>	0,86 <sup>**</sup>	-0,87 <sup>**</sup>	-0,51 <sup>ns</sup>
	50	0,79 <sup>**</sup>	0,92 <sup>**</sup>	-0,93 <sup>**</sup>	-0,80 <sup>**</sup>
	100	0,65 <sup>*</sup>	0,61 <sup>*</sup>	-0,63 <sup>*</sup>	-0,67 <sup>*</sup>
	200	0,41 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>*</sup>	-0,62 <sup>*</sup>	-0,40 <sup>ns</sup>
	300	0,80 <sup>**</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	-0,42 <sup>ns</sup>	-0,80 <sup>**</sup>
AF	0	0,81 <sup>**</sup>	0,96 <sup>**</sup>	-0,96 <sup>**</sup>	-0,81 <sup>**</sup>
	50	0,92 <sup>**</sup>	0,90 <sup>**</sup>	-0,88 <sup>**</sup>	-0,91 <sup>**</sup>
	100	0,56 <sup>*</sup>	0,58 <sup>*</sup>	-0,60 <sup>*</sup>	-0,58 <sup>*</sup>
	200	0,58 <sup>*</sup>	0,79 <sup>**</sup>	-0,80 <sup>**</sup>	-0,57 <sup>*</sup>
	300	0,77 <sup>**</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	-0,41 <sup>ns</sup>	-0,77 <sup>**</sup>
MF	0	0,49 <sup>ns</sup>	0,74 <sup>**</sup>	-0,74 <sup>**</sup>	-0,49 <sup>ns</sup>
	50	0,65 <sup>*</sup>	0,82 <sup>**</sup>	-0,82 <sup>**</sup>	-0,65 <sup>*</sup>
	100	0,46 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>*</sup>	-0,62 <sup>*</sup>	-0,47 <sup>ns</sup>
	200	0,47 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>*</sup>	-0,63 <sup>*</sup>	-0,45 <sup>ns</sup>
	300	0,82 <sup>**</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	-0,36 <sup>ns</sup>	-0,82 <sup>**</sup>
NF	0	0,70 <sup>*</sup>	0,81 <sup>**</sup>	-0,79 <sup>**</sup>	-0,68 <sup>*</sup>
	50	0,49 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>*</sup>	-0,65 <sup>*</sup>	-0,49 <sup>ns</sup>
	100	0,48 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>*</sup>	-0,66 <sup>*</sup>	-0,49 <sup>ns</sup>
	200	0,54 <sup>ns</sup>	0,78 <sup>**</sup>	-0,78 <sup>**</sup>	-0,53 <sup>ns</sup>
	300	0,88 <sup>**</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	-0,45 <sup>ns</sup>	-0,87 <sup>**</sup>

\*\* significativo (p<0,01); \* significativo (p<0,05); ns não significativo

Através dos dados apresentados na Tabela 17, observa-se que todas as correlações aos 80DAE entre massa seca e os IV's do espectrorradiômetro foram classificadas como forte, sendo 90% com  $r$  ( $p < 0,01$ ) e 10% com  $r$  ( $p < 0,05$ ). A área foliar também se correlacionou significativamente com todos os índices de vegetação estudados, sendo com  $r$  ( $p < 0,01$ ), sendo classificadas como forte.

O atributo massa fresca apresentou 90% de  $r$  ( $p < 0,01$ ) e 10% de  $r$  ( $p < 0,05$ ). O teor de nitrogênio foliar apresentou 40% de  $r$  ( $p < 0,01$ ) e 60% de  $r$  ( $p < 0,05$ ).

Dessa forma, sabe-se que o componente avaliado que apresentou menor correlação com os IV's estudados e obtidos pelo espectrorradiômetro foi o teor de nitrogênio foliar. Essa baixa correlação, de acordo com Dwyer et al. (1995), pode ser explicada pelo fato de que o N presente nas folhas das plantas não é totalmente relacionado a molécula de clorofila sendo em boa parte associada ao nitrato.

Os índices de vegetação que menos se correlacionaram com os componentes de produção foram RNIR e NDVI, o que nos indica que a faixa verde do espectro é mais eficiente que a faixa vermelha. Dados semelhantes foram encontrados no trabalho de Zhao et al. (2005) com algodão submetido a quatro diferentes doses de N, em que avaliaram o potencial das bandas do vermelho e infravermelho próximo, com o uso de índices de vegetação, em discriminar o estresse nutricional a respeito do elemento N.

Os resultados do trabalho mostraram que o uso das bandas do vermelho e infravermelho próximo, contradizendo a literatura, não são necessariamente as melhores bandas a serem utilizadas para a discriminação do estresse de N.

Silva Jr. et al. (2007), em um trabalho com o uso de imagens digitais, concluíram que, o uso da banda verde para o cálculo de índice de vegetação da diferença normalizada, foi mais sensível na relação com a estimativa de produtividade e massa seca de pastagem do que o uso da banda vermelha. Além disso, Martin et al. (2007), em um experimento com milho obtiveram em estádios iniciais de desenvolvimento (V3 a V5), tanto a produtividade quanto a biomassa tiveram baixa correlação com o NDVI ( $R^2 < 0,12$ ), mas esta aumentou em V6 e V7 ( $R^2 = 0,29$ ) e atingindo valores máximos entre V8 e V12 ( $0,55 < R^2 < 0,66$ ).

Ao analisar as Tabelas 17, 18 e 19, pode-se verificar que a variável que mais se destaca em sua correlação com os índices vegetativos é a variável área foliar. Todas as correlações dos índices GNDVI e NDVI se comportam como positivos, ou seja, indica que as duas variáveis se movem juntas, e os índices RNIR e GNIR se comportam como negativos, ou seja, indica que as duas variáveis se movem em sentidos contrários.

TABELA 17 - Correlação de Pearson e teste t para os índices de vegetação obtidos por meio do espectralradiômetro, a cada atributo avaliado do milho nas diferentes doses de N aplicadas.

Dose de N	Índices do Espectralradiômetro				
	GNDVI	NDVI	RNIR	GNIR	
MS	0	0,87 **	0,65 *	-0,64 *	-0,88 **
	50	0,88 **	0,83 **	-0,84 **	-0,89 **
	100	0,97 **	0,92 **	-0,92 **	-0,97 **
	200	0,83 **	0,93 **	-0,93 **	-0,80 **
	300	0,78 **	0,82 **	-0,82 **	-0,78 **
AF	0	0,95 **	0,80 **	-0,79 **	-0,95 **
	50	0,88 **	0,81 **	-0,81 **	-0,88 **
	100	0,90 **	0,81 **	-0,81 **	-0,89 **
	200	0,90 **	0,94 **	-0,94 **	-0,91 **
	300	0,76 **	0,79 **	-0,79 **	-0,76 **
MF	0	0,78 **	0,62 *	-0,62 *	-0,78 **
	50	0,74 **	0,73 **	-0,73 **	-0,74 **
	100	0,73 **	0,80 **	-0,79 **	-0,73 **
	200	0,85 **	0,86 **	-0,86 **	-0,81 **
	300	0,82 **	0,87 **	-0,86 **	-0,81 **
NF	0	0,65 *	0,58 *	-0,57 *	-0,64 *
	50	0,67 *	0,57 *	-0,58 *	-0,67 *
	100	0,82 **	0,70 *	-0,69 *	-0,81 **
	200	0,91 **	0,95 **	-0,95 **	-0,90 **
	300	0,71 *	0,77 **	-0,77 **	-0,71 *

\*\* significativo (p<0,01); \* significativo (p<0,05); ns não significativo

Os melhores coeficientes de correlações dos componentes do milho com os índices de vegetação foram encontrados com o uso do espectralradiômetro. Tal condição se deve, principalmente, por não haver influência da atmosfera, bem como com a intensidade luminosa na data de avaliação, uma vez que foi utilizado o acessório ASD Plant Probe para as leituras no campo.

## 5. CONCLUSÃO

As variáveis massa seca e área foliar apresentaram comportamento quadrático em relação as doses de N aplicadas, tendo valores como ponto de máximo ao redor de  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de N.

A variável nitrogênio foliar apresentou comportamento linear, tendo aumento de nitrogênio foliar devido ao aumento de doses de N aplicadas no solo.

O comportamento espectral do milho variou com as doses de nitrogênio principalmente na porção visível do espectro, sendo mais evidenciada aos 60 e 80DAE.

O comportamento espectral do milho com baixas doses de N apresentou respostas diferentes com o passar dos DAE. Doses altas de nitrogênio não apresentaram diferenças visíveis no espectro com o decorrer do tempo.

O espectroradiômetro foi o melhor sensor utilizado para detectar o estresse nutricional de nitrogênio no milho.

O uso de câmeras fotográficas digitais com sensor infravermelho apresentam um futuro promissor, devido as altas correlações e semelhança das regressões encontradas; porém, necessitam-se de melhores estudos em relação a luminosidade, tempo de exposição e distância focal para se capturar as imagens, pois este fato gera alto coeficiente de variação, diminuindo a precisão dos resultados encontrados.

O uso do filtro de 720nm apresentou respostas semelhantes ao uso do filtro de 850nm, sendo o primeiro considerado superior devido as suas melhores correlações com os dados do espectro e com os atributos avaliados no milho.

O GNDVI e GNIR foram os índices que mais se ajustaram as doses de nitrogênio aplicadas, aos 80DAE.

## REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, S.A. Índices de vegetação de base espectral para discriminar doses de nitrogênio em capim-tanzânia. **R. Bras. Zootec.** v.38, n.9, Viçosa, Sept. 2009.
- ALDRICH, S.R.; SCOTT, W.O.; LENG, E.R. **Modern corn production**. 2.ed. Champaign: A & L Publication, 1982.
- ALVES, V.M.C.; VASCONCELLOS, C.A.; FREIRE, F.M. et al. Milho. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARAES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Eds.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5<sup>a</sup> aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 314-316.
- ALVES, W.A.; ALBUQUERQUE, J.H.; OLIVEIRA, F.A. et al. Manejo da água disponível no solo e adubação fosfatada: efeito sobre a cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, p447-251. 2002.
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. Estimativa da adubação nitrogenada para o milho em sistemas de manejo e culturas de cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.53-560, 2000.
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC, adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.241-248, 2002.
- ARAÚJO, L.A.N.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. et al. Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Agropecuária Brasileira**, v.39, n.8, p.771-777. 2004.
- ARGENTA, G. **Monitoramento do nível de nitrogênio na planta como indicador da adubação nitrogenada em milho**. 2001. 112 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; MIELNICZUK, J. et al. Parâmetros de planta como indicadores do nível de nitrogênio na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.4, p.519-527, 2002.
- ASD Inc. **ViewSpec Pro User's Guide: ViewSpec Pro™ User Manual**, ASD Document 600555 Rev. A 2008.
- BARBOSA, K. M. do N. **Monitoramento espacial de biomassa e carbono orgânico da vegetação herbácea de várzea na Amazônia Central**. 2006, 131p. Tese de Doutorado Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- BAUSCH, W.C. & DUKE, H.R. Remote sensing of plant nitrogen status in corn. **Transactions of de ASAE**, v.39, n.5, p.1869-1875, 1996.
- BAUSCH, W.C.; DUKE, H.R. Remote sensing of plant nitrogen status in corn. **Transactions of the ASAE**, v.39, n.5, p.1869-1875, 1996.

BLACKMER, A.M.; WHITE, S.E. Remote sensing to identify spatial patterns in optimal rates of nitrogen fertilization. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1996, Minneapolis, Minnesota. Proceedings of the 3rd International Conference Minneapolis, Minnesota, **ASA/CSSA/SSSA**. Minneapolis, MN, June 23-26, 1996.

BLACKMER, T.; SCHEPERS, J.S.; VARVEL, G.E. et al. Nitrogen Deficiency detection using reflected short-wave radiation from irrigated corn canopies. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, p.1-5, 1996.

BRANDÃO, Z. N.; SOFIATTI, V.; FERREIRA, G.B. et al. Predição da adubação nitrogenada através da utilização do índice SPAD para o algodoeiro no semiárido. **Engenharia Ambiental**, v.6, p.368-382, 2009.

BRANDÃO, Z.N. **Estimativa da produtividade e estado nutricional da cultura do algodão irrigado via técnicas de sensoriamento remoto**. 2009. 152f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais. UFCG, Campina Grande-PB, 2009.

BRONSON, K.F.; BOOKER, J.D. et al. Canopy reflectance-based Nitrogen Management Strategies for Subsurface Drip Irrigated Cotton in the Texas High Plains. **Agronomy Journal**. v.103, p. 422-430. 2011.

BULLOCK, D. G.; ANDERSON, D. S. Evaluation of the Minolta SPAD 502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 21, n. 4, p. 741-755, 1998.

CERETTA, C. A.; AITA, C.; BRAIDA, J.A. et al. Fornecimento de nitrogênio por leguminosas na primavera para o milho em sucessão nos sistemas de cultivo mínimo e convencional. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.18, p.215-220, 1994.

CERRATO, M.E.; BLACKMER, A.M. Relationships between leaf nitrogen concentrations and the nitrogen status of of corn. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.4, n.3, p.525-531, 1991.

CIOMPI, S.; GENTILI, E.; GUIDI, L. et al. The effect of nitrogen deficiency on leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in sunflower. **Plant Sci. Limerick**, v. 118, n.2, p.177–184. 1996.

COELHO, A. M. **Manejo da Adubação Nitrogenada na Cultura do Milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo – Circ. 96, 2007. 11p.

CRIMMINS, M. A.; CRIMMINS, T. M. Monitoring Plant Phenology Using Digital Repeat Photography. **Environmental Management**. v.1, n.6, p. 949-58. 2008.

CUNHA, C.A.H. **Relação entre comportamento espectral, índice de área foliar e produção de matéria seca em capim-tanzânia submetido a diferentes níveis de irrigação e doses de nitrogênio**. 2004. 154f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2004.

DEV, S. P.; BHARDWAJ, K. K. R. Effect of crop wastes and nitrogen levels of biomass production and nitrogen uptake in wheat-maize sequence. **Annals of Agricultural Research**. v.16, n.2, p. 264–267. 1995.

DIAS, V. P.; FERNANDES, E. Fertilizantes: uma visão global sintética. In: BNDES Setorial, **Fertilizantes: uma visão global sintética**. Rio de Janeiro: BNDES, 2006. n.24, p.97-138.

DIKER, K.; BAUSCH, W. C.; HEERMANN, D. F. Monitoring temporal changes of irrigated corn by aerial images. **ASAE Annual Meeting**. St. Joseph, Michigan. n. 11-144, 2001.

DOUGHERTY, C.T.; RHYKERD, C.L. The role of nitrogen in forage-animal production. In: HEATH, M.E.; BARNES, R.F.; METCALFE, D.S. (Eds.) **Forages: the science of grassland agriculture**. 5.ed. Iowa: State University, 1985. p.318-325.

DWYER, L.M.; ANDERSON, A.M.; MA, B.L. et al. Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration. **Canadian Journal of Plant Science**, v.75, p.179-182, 1995.

FANCELLI, A.L. & D. DOURADO-NETO. **Produção de Milho**. Ed. Agropecuária, Guaíba. 360 p., 2000.

FANCELLI, A.L. **Plantas Alimentícias: guia para estudos e discussão**. Piracicaba: CALQ, 1986. 131p.

FERNANDES, F.C.S.; ARF. S.B.O.; ANDRADE, J.A. da C. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. v.4, n.2, p.195-204. 2005.

FERNANDEZ, C. J.; MCINNES, K. J.; COTHREN, J. T. Water status and leaf area production in water- and nitrogen-stressed cotton. **CropSci**. v.36, p.1224–1233. 1996.

FERNÁNDEZ, S.; VIDAL, D.; SIMON, E. et al. Radiometric characteristics of triticum aestivum cv. Astral under water and nitrogen stress. **International Journal of Remote Sensing**, London, v.15, n.9, p.1867-1884, 1994.

FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M.E. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. **Acta Sci. Biol. Sci**, v. 30, n. 4, p. 379-390, 2008.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2005.

FONSECA, E.L.; ROSA, L. M. G.; FONTANA, D.C.; Caracterização espectral de *Paspalum notatum* em diferentes níveis de adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n.3, p.365-371. 2002.

GATES, D.M.; KEEGAN, H.J.; SCHLETER, J.C.; WEIDNER, V.R. Spectral properties of plants. **Applied Optics**, v.4, ed.1, p.11-20, 1965.



GITELSON, A.A. Wide dynamic range vegetation index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation. **Journal of Plant Physiology**, v.161, n.2, p.165-173, 2004.

GITELSON, A.A.; Y.J. KAUFMAN; MERZLYAK, M.N. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS, **Remote Sens. Environ.** v. 58, n.3 , p.289-298. 1996.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: ESALQ/USP,1985.

GOPALAPILLAI, S.; TIAN, L.; BEAL, J. Detection of nitrogen stress in corn using digital aerial imaging. **ASAE Annual Meeting**, n. 983030, 1998.

HAN, S.; HENDRICKSON, L.; NI, B. Comparison do satellite remote sensing and aerial photography for ability to detect in-season nitrogen stress in corn. **ASAE Meeting**, Paper n. 01-1142, 2001.

HATFIELD, J.; PRUEGER, J.H.Value of Using Different Vegetative Indices to Quantify Agricultural Crop Characteristics at Different Growth Stages under Varying Management Practices. **Remote Sensing** v.2, p.562-578, 2010.

HINZMAN, L. D.; BAUER, M. E.; DAUGHTRY, C. S. T. Effects of nitrogen fertilization on growth and reflectance characteristics of winter wheat. **Remote Sensing of Environment**, v.19, n.1, p.47-61. 1986.

HOFFER, R.M. Biological and Physical Considerations in Applying Computer-Aided Analysis Techniques to Remote Sensor Data. In: SWAIN, P. H; DAVIS, S.M. **Remote Sensing: The Quantitative Approach**. New York: McGRAW-HILL, 1978. p. 227-289.

HUETE, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote sensing of environment**. v.25, p.295-309. 1988.

INPE–Divisão de processamento de imagem, **Manual Spring 5.2**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/manuais.html>> Acesso em: 20 ago, 2013.

JACKSON, R.D.; HUETE, A.R. Interpreting vegetation indices. **Prev. Vet. Med.**, Amsterdam, v. 11, n. 3, p. 185-200, 1991.

JENSEN, J.R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective**. New York: Prentice Hall, 1996. 318p.

JOINSON, S.; BRITTON, B.; BARNETT, S. et al. **Fujifilm IS Pro, third UV & IR camera**, DPREVIEW, 2007. Disponível em: <<http://www.dpreview.com/news/2007/7/13/fujifilmispro>>. Acesso em: 06 jun.2013.

KARLEN, D.L.; SADLER, E.J.; CAMP, C.R. Drymatter, nitrogen, phosphorus, and potassium accumulation rates by corn on Norfolk Loamy Sand. **Agronomy Journal**, Madison, v. 79, p. 649-656, 1987.

LI, F.; MIAO, Y.; FENG, G., et al. Improving estimation of summer maize nitrogen status with red edge-based spectral vegetation indices. **Field Crops Research**. 157. p.111–123, 2014.

LU, C. M.; ZHANG, J.; ZHANG, Q. et al. Modification of Photosystem II photochemistry in nitrogen deficient maize and wheat plants. **J. Plant Physiol.** v.158, p.1423–1430. 2001.

LUCENA, L. de F.C.; OLIVEIRA, F.A.; SILVA, I.F. et al. Respostas do milho a diferentes níveis de nitrogênio e fósforo aplicados ao solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, V.4, n.3, p.334-337. 2000.

LUKINA, E.V.; RAUN, W.R.; STONE, M.L. et al. Effect of row spacing, N rate and growth stage on spectral radiance in winter wheat. **OSU Soil Fertility Research Highlights**. Oklahoma State University, Department of Plant and Soil Sciences. p. 251-258, 1997.

MA, B.L.; DWYER, L.M. Within plot variability in available soil mineral nitrogen in relation to leaf greenness and yield. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.30, p.1919-1928, 1999.

MA, B.L.; MORRISON, M.J.; DWYER, L.M. Canopy light reflectance and field greenness to assess nitrogen fertilization and yield of maize. **Agronomy Journal**, Madison, v.88, p. 915-920, 1996.

MA, B.L.; SUBEDI, K.D.; ZHANG, T.Q. Pre-sidedress nitrate test and other crop-based indicators for fresh market and processing sweet corn. **Agronomy Journal**, v.99, p.174-183, 2007.

MAGALHÃES, P. C. **Fisiologia do Milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo – Circ.22, 2002. p65.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: Princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba, Potafos, 1997. p.232-238

MARTIN, K.L.; GIRMA, K.; FREEMAN, K.W.; TEAL, R.K.; TUBACA, B.; ARNALL, D.B.; CHUNG, B.; WALSH, O.; SOLIE, J.B.; STONE, M.L.; RAUN, W.R. Expression of variability in corn as influenced by growth stage using optical sensor measurements. **Agronomy Journal**, v.99, p.384-389, 2007.

MENDONÇA, F.C.; MEDEIROS, R.D.; BOTREL, T.A. et al. Adubação nitrogenada do milho em um sistema irrigado por aspersão em linha. **Scientia Agrícola**, v.56, n.4, p.1151-1155, 1999.

MENESES, R.; MADEIRA NETO, J.S. **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília: Embrapa, 2001. 262p.

MOGES, S.M.; RAUN, W.R.; MULLEN, R.W. et al. Evaluation of green, red and near infrared bands for predicting winter wheat biomass, nitrogen uptake, and final grain yield. **Journal of Plant Nutrition**, v.27, n.8, p.1431-1441, 2004.

MOLL, R. H.; KAMPRATH, E. J.; JACKSON, W.A. . Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, p. 562-564, 1982.

MONTANARI, L.L. **A Sensibilidade ISO**. 2011.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 2 ed. São José dos Campos: UFV, 2005. 250p.

NOVO, E. M. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações.** 4 ed. São Paulo. Edgard Blucher, 2010. 388p.

OLIVEIRA, F.A.; CAVALCANTE, L.F.; SILVA, I.F. et al. Crescimento do milho adubado com nitrogênio e fósforo em um LATOSSOLO AMARELO. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias.** v.4, n.3, p.238-244. 2009.

OLNESS, A.; BENOIT, G. R. **A closer look at corn nutrient demand. Better Crops with Plant Food,** v.76, n.2, p.18-20, 1992.

PATEL, N.K. et al. Spectral response of rice crop and its relation to yield and yield attributes. **International Journal of Remote Sensing.** London, v.6, n.5, p. 657-664, 1985.

PEARSON, R.L.; MILLER, L.D. Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the short-grass Prairie, In: PROC. OF THE 8TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, **ERIM, Ann Arbor, MI,** Pawnee National Grasslands, Colorado. n.1357-1381, 1972.

PEARSON. **Coefficiente de correlação.** Disponível em <[http://www.aurea.uac.pt/pdf\\_MBA/coef\\_correl\\_Pearson.pdf](http://www.aurea.uac.pt/pdf_MBA/coef_correl_Pearson.pdf)> Acesso em: 10 set. 2013.

PINTER, Jr., P.J.; JACKSON, R.D.; EZRA E.C. et al. Sun-angle and canopy-architecture effects on the spectral reflectance of six wheat cultivars. **International Journal of Remote Sensing, Basingstoke,** v.6, n.12, p.1813-25, 1985.

PONZINI, F.J. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: diagnosticando a mata atlântica,** INPE, São José dos Campos, 2002.

PONZONI, F. J.; GALVÃO, L. S.; EPIPHANIO, J. C. N. Influência da resolução espacial sobre a quantificação de áreas não florestadas em ambiente Amazônico. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10, 2001, **Anais...**, Foz do Iguaçu: INPE, 2001. p. 1713 -1720.

POVH, F.P.; MOLIN, J.P.; GIMENEZ, L.M. et al. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v.43, n.8, p.1075-1083, 2008.

PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A. et al. Nitrogen fertilization in coastcross grass: effects on nutrient extraction and apparent nitrogen recovery. **Revista Brasileira de Zootecnia,** v.33, n.1, p.68-78, 2004.

QUEIROZ, D.M.; DIAS, G.P.; MANTOVANI, E.C. Agricultura de precisão na produção de grãos. In: BORÉM, A.; GIUDICE, M.P.; QUEIROZ, D.M.; MANTOVANI, E.C.; FERREIRA, L.R.; VALLE, F.X.R.; GOMIDE, R.L. **Agricultura de precisão.** Viçosa: Editora UFV, 2000. p.1-41.

- RAMBO, L.; MA, B.L.; XIONG, Y. et al. Leaf and canopy optical characteristics as crop-N-status indicators for field nitrogen management in corn. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.173, p.434-443, 2010.
- READ, J.J.; WHALEY, E.L.; TARPLEY, L. et al. Evaluation of a hand-held radiometer for field determination of nitrogen status in cotton. **American Society of Agronomy Special Publication**. n. 66. p. 177-195. 2003.
- RICHARDSON, A. J.; WIEGAND, C. L. Distinguishing vegetation from soil background information. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.43, p.1541-1552, 1977.
- RONDEAUX, G.; STEVEN, M.; BARET, F. Optimization of soil-adjusted vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 55, p. 95-107, 1996.
- ROUSE, J. W. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. **Final Report, Type III, NASA/GSFC**, Greenbelt, MD, p.371. 1974.
- ROZAS, H.S.; ECHEVERRIA, H.E. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo de mais y el rendimiento em grano. **Revista Facultad de Agronomía**, v.103, n.1, p.37-34, 1998.
- RSI (Research Systems, Inc). **ENVI User's Guide**. ENVI Version 4.0 September, 2003.
- SAINT-GUILY, A. Etude comparative des effets d'une contrainte hydrique progressive sur les parametres hydriques de trois variétés de mil (*Pennisetum americanum* L.). **DEA de physiologie végétale appliquée**. Paris: Université Pierre et Marie Curie, DEA, 1985. 46p
- SAKAMOTO, T.; GITELSON, A.A.; NGUY-ROBERTSON, A.L., et al. An alternative method using digital cameras for continuous monitoring of crop status. **Agricultural and Forest Meteorology**. 154–155, p.113–126. 2012.
- SANTOS, C. **Estatística Descritiva** - Manual de Auto-aprendizagem, Lisboa, Edições Sílabo. 2007.
- SCHARF, P. C.; LORY, J. A. Calibration of remotely sensed corn color to predict nitrogen need. **Agronomy Journal**, v.94, p.397-404, 2002.
- SCHARF, P.C. & LORY J.A. Calibration of remotely-sensed corn color to predict nitrogen need. Proceeding of the Fifth International Conference on Precision Agriculture. **ASA-CSSA-SSSA**, Madison, WI 53711, 2000.
- SCHARF, P.C.; LORY, J.A. Calibrating reflectance measurements to predict optimal sidedress nitrogen rate for corn. **Agronomy Journal**, v.101, p.615-625, 2009.
- SCHEPERS, J.S.; BLACKMER, T.M.; WILHELM, W. et al. Transmittance and reflectance measurements of corn leaves from plants with different nitrogen and water supply. **J. Plant Physiol**. v.148, p.523-529, 1996.
- SCHLEICHER, T.D.; BAUSCH, W.C.; DELGADO, J.A. et al. Evaluation and refinement of the nitrogen reflectance index (NRI) for site-specific fertilizer management. **ASAE Annual Meeting**, n. 011151, California, 2001.

SCHOWENGERDT, R. A. **Spectral Transforms**. In: REMOTE SENSING: MODELS AND METHODS FOR IMAGE PROCESSING. London: Academic Press, 1997. 522p.

SCHRÖDER, J.J.; NEETESON, J.J.; OENEMA, O.; STRUIK, P.C. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of art. **Field Crops Research**, v.66, p.151-164, 2000.

SENA JÚNIOR, D.G.; PINTO, F. de A. de C.; QUEIROZ, D.M. de, et al. Discriminação entre estágios nutricionais na cultura do trigo com técnicas de visão artificial e medidor portátil de clorofila. **Engenharia Agrícola**, v.28, n.1, p.187-195, 2008.

SÉRÉLÉ, C. Z.; GWYN, Q.H.J.; BOISVERT, J.B. et al. Detection of corn nitrogen status from airborne vis-nir imagery using artificial neural networks. Proceeding of the Fifth International Conference on Precision Agriculture. **ASA-CSSA-SSSA**, Madison, WI.n. 53711, 2000.

SHANAHAN, J.F.S.; SCHEPERS, J.S.; FRANCIS, D.D. et al. Use of Remotesensig imagery to estimate corn grain yield. **Agronomy Journal**, v.93. p. 583–589. 2001.

SILVA JÚNIOR, M.C.; PINTO, F.A.C.; QUEIROZ, D.M. et al. Utilização de imagens multiespectrais para detectar diferentes níveis nutricionais na forrageira *Brachiaria decumbens*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE: 2007. P. 401-406.

SOLARI, F. **Developing a crop based strategy for on-the-go nitrogen management in irrigated cornfields**. 2006. p.165. Tese de doutorado. Faculty of The Graduate College at the University of Nebraska. Lincoln, Nebraska, 2006.

SOUZA, E.G.; ROCHA, T.; URIBE-OPAZO, M.A. et al. Índices de vegetação no milho em função da hora do dia e da taxa de nitrogênio aplicada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.13, (Suplemento), p.865–872, 2009.

STONE, M.L.; SOLIE, J.B.; WHITNEY, R.W. et al. Sensors for detection of nitrogen in winter wheat. **SAE Technical paper series**. SAE n. 961757. SAE, Warrendale PA. 1996.

TEIXEIRA, L.A.; TESTA, V.M.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio do solo, nutrição e rendimento de milho afetados por sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.207-214, 1994.

TUMBO, D.S.; WAGNER, D.G.; HEINEMANN, P.H. Hyperspectral characteristics of corn plants under different chlorophyll levels. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.45, n.3, p.815-823, 2002.

VAN DELDEN, A. Yield and growth components of potato and wheat under organic nitrogen management. **Agron. J.** v.93, p.1370– 1385. 2001.

VARELLA, C.A.A.; KHOURY JR, J.K.; PINTO, F.A.C. et al. Estimativa da deficiência de nitrogênio na cultura do milho utilizando características de imagens digitais para o uso em sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6.; 2003, Belo Horizonte. **Anais...**Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 2391-2398.

VIANA, P. A.; WAQUIL, J.M.; VALICENTE, F.H. et al. Ocorrência e controle de pragas na safrinha de milho nas regiões Norte e Oeste do Paraná - **Circular técnica 45**, EMBRAPA, Sete Lagoas – MG, dez. 2004.

WANG, Z.; CHUANG, L.; HUETE, A. et al. AVHRR-NDVI to MODIS-EVI: advances in vegetation index research. **Acta Ecologica Sinica, Amsterdam**, v. 23, n. 5, p. 979-988, 2003

WASKOM, R.M.; WESTFALL, D.G.; SPELLMAN, D.E. et al. Monitoring nitrogen status of corn with a portable chlorophyllmeter. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.27, n.3, p.545-560, 1996.

WOOD, C.W.; REEVES, D.W.; HIMELRICK, D.G. Relationships between chlorophyll meter readings and leaf chlorophyll concentration, N status, and crop yield: A review. **Proceedings....** New Zealand: Agronomy Society., 1993. p.1-9.

WU, J.; WANG, D.; ROSEN, C.J. et al. Comparison of petiole nitrate concentrations, SPAD chlorophyll readings, and QuickBird satellite imagery in detecting nitrogen status of potato canopies. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.101, n.1, p.96-103, 2007.

ZARCO-TEJADA, P.J.; SEPULCRE-CANTÓ, G. Remote sensing of vegetation biophysical parameters for detecting stress condition and land cover changes. **Estudios de La Zona no Saturada del Suelo**. v. VIII. Giráldez Cervera, J.V., Jiménez Hornero, F.J. (Eds). 2007.

ZHAO, D.; HUANG, L.; LI, J. et al. comparative analysis of broadband and narrowband derived vegetation indices in predicting LAI and CCD of a cotton canopy. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**. v. 62. p. 25-33. 2007.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A

Análise de variância da regressão e pressupostos básicos aos 15DAE para os índices GNDVI, NDVI, GNIR e RNIR calculados com o uso de imagens digitais com o filtro de 720nm ajustado para as doses de nitrogênio aplicadas.

720 GNDVI						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,984	0,717	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	0,388	0,816	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,010	0,003	1,090	0,373	NS
RL	1	0,001	0,001	0,435	0,513	NS
RQ	1	0,002	0,002	0,695	0,409	NS
DESVIO	2	0,008	0,004	1,615	0,210	NS
RESIDUO	45	0,106	0,002			
TOTAL	49	0,116				
CV	26,19					
Media geral	0,185					

720 NDVI						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,991	0,973	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	0,483	0,748	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,01168	0,00292	0,900	0,472	NS
RL	1	0,00024	0,00024	0,073	0,789	NS
RQ	1	0,00005	0,00005	0,014	0,905	NS
DESVIO	2	0,01140	0,00570	1,757	0,184	NS
RESIDUO	45	0,14601	0,00325			
TOTAL	49	0,15769				
CV	18,42					
Media geral	0,309					

720 GNIR						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,988	0,874	NS		
LEVENE	n	Fc	Pr>Fc	NS		
LEVENE	50	0,457	0,767	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,022	0,005	1,132	0,354	NS
RL	1	0,002	0,002	0,480	0,492	NS
RQ	1	0,004	0,004	0,783	0,381	NS
DESVIO	2	0,016	0,008	1,632	0,207	NS
RESIDUO	45	0,215	0,005			
TOTAL	49	0,237				
CV	10,03					
Media geral	0,690					

720 RNIR						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,974	0,346	NS		
LEVENE	n	Fc	Pr>Fc	NS		
LEVENE	50	0,683	0,607	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,0249	0,0062	1,148	0,346	NS
RL	1	0,0007	0,0007	0,132	0,718	NS
RQ	1	0,0006	0,0006	0,117	0,734	NS
DESVIO	2	0,0235	0,0118	2,172	0,126	NS
RESIDUO	45	0,2437	0,0054			
TOTAL	49	0,2685				
CV	13,8					
Media geral	0,533					



Análise de variância da regressão e pressupostos básicos aos 15DAE para os índices GNDVI, NDVI, GNIR e RNIR calculados com o uso de imagens digitais com o filtro de 850nm ajustado para as doses de nitrogênio aplicadas.

850 GNDVI						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,959	0,082	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	0,537	0,709	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,0136	0,0034	1,263	0,299	NS
RL	1	0,0003	0,0003	0,093	0,762	NS
RQ	1	0,0098	0,0098	3,650	0,062	NS
DESVIO	2	0,0035	0,0018	0,654	0,525	NS
RESIDUO	45	0,1212	0,0027			
TOTAL	49	0,1348				
CV	-33,68					
Media geral	-0,154					

850 NDVI						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,986	0,817	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	0,827	0,515	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,00362	0,00091	0,225	0,923	NS
RL	1	0,00001	0,00001	0,003	0,958	NS
RQ	1	0,00131	0,00131	0,326	0,571	NS
DESVIO	2	0,00230	0,00115	0,285	0,753	NS
RESIDUO	45	0,18121	0,00403			
TOTAL	49	0,18484				
CV	-257,31					
Media geral	-0,025					

850 GNIR						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,975	0,353	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	0,317	0,865	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,098	0,025	1,214	0,318	NS
RL	1	0,002	0,002	0,107	0,745	NS
RQ	1	0,074	0,074	3,663	0,062	NS
DESVIO	2	0,022	0,011	0,543	0,585	NS
RESIDUO	45	0,912	0,020			
TOTAL	49	1,011				
CV	10,37					
Media geral	1,373					

850 RNIR						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,986	0,800	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	0,872	0,488	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,0167	0,0042	0,231	0,920	NS
RL	1	0,0002	0,0002	0,009	0,926	NS
RQ	1	0,0058	0,0058	0,320	0,575	NS
DESVIO	2	0,0107	0,0054	0,297	0,745	NS
RESIDUO	45	0,8137	0,0181			
TOTAL	49	0,8303				
CV	12,7					
Media geral	1,059					

Análise de variância da regressão e pressupostos básicos aos 15DAE para os índices GNDVI, NDVI, GNIR e RNIR calculados com o uso do espectrorradiômetro ajustado para as doses de nitrogênio aplicadas.

Espectrorradiômetro GNDVI						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,961	0,102	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	2,005	0,110	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,00206	0,00052	1,156	0,343	NS
RL	1	0,00001	0,00001	0,030	0,863	NS
RQ	1	0,00109	0,00109	2,433	0,126	NS
DESVIO	2	0,00096	0,00048	1,080	0,348	NS
RESIDUO	45	0,02009	0,00045			
TOTAL	49	0,02215				
CV	3,62					
Media geral	0,584					

Espectrorradiômetro NDVI						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO	50	0,960	0,086	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	1,120	0,359	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,00112	0,00028	0,652	0,628	NS
RL	1	0,00007	0,00007	0,163	0,688	NS
RQ	1	0,00030	0,00030	0,704	0,406	NS
DESVIO	2	0,00075	0,00037	0,871	0,425	NS
RESIDUO	45	0,01933	0,00043			
TOTAL	49	0,02045				
CV	3,29					
Media geral	0,630					

Espectroradiômetro GNIR						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,968	0,196	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	1,956	0,118	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,00125	0,00031	1,126	0,356	NS
RL	1	0,00001	0,00001	0,036	0,851	NS
RQ	1	0,00066	0,00066	2,382	0,130	NS
DESVIO	2	0,00058	0,00029	1,043	0,361	NS
RESIDUO	45	0,01249	0,00028			
TOTAL	49					
CV	6,33					
Media geral	0,263					

Espectroradiômetro RNIR						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,964	0,128	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	1,117	0,360	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,000600	0,000150	0,625	0,647	NS
RL	1	0,000038	0,000038	0,157	0,694	NS
RQ	1	0,000158	0,000158	0,657	0,422	NS
DESVIO	2	0,000404	0,000202	0,842	0,438	NS
RESIDUO	45	0,010807	0,000240			
TOTAL	49	0,011407				
CV	6,82					
Media geral	0,227					

## APÊNDICE B

Análise de variância da regressão e presupostos básicos aos 30DAE para os índices GNDVI, NDVI, GNIR e RNIR calculados com o uso de imagens digitais com o filtro de 720nm ajustado para as doses de nitrogênio aplicadas.

720 GNDVI						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,965	0,143	NS		
LEVENE						
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	1,775	0,151	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,013	0,003	1,221	0,315	NS
RL	1	0,009	0,009	3,161	0,082	NS
RQ	1	0,002	0,002	0,641	0,427	NS
DESVIO	2	0,003	0,001	0,541	0,586	NS
RESIDUO	45	0,123	0,003			
TOTAL	49	0,137				
CV	38,4					
Media geral	0,136					

720 NDVI						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO	50	0,988	0,886	NS		
LEVENE						
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	1,188	0,329	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,0021	0,0005	0,147	0,963	NS
RL	1	0,0008	0,0008	0,225	0,638	NS
RQ	1	0,0005	0,0005	0,133	0,717	NS
DESVIO	2	0,0008	0,0004	0,115	0,891	NS
RESIDUO	45	0,1618	0,0036			
TOTAL	49	0,1639				
CV	24,08					
Media geral	0,249					

720 GNIR						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,960	0,092	NS		
LEVENE						
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	1,696	0,168	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,032	0,008	1,214	0,318	NS
RL	1	0,020	0,020	3,079	0,086	NS
RQ	1	0,005	0,005	0,739	0,394	NS
DESVIO	2	0,007	0,003	0,519	0,599	NS
RESIDUO	45	0,297	0,007			
TOTAL	49	0,329				
CV	10,64					
Media geral	0,764					

720 RNIR						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,984	0,747	NS		
LEVENE						
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	0,805	0,529	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,0026	0,0007	0,102	0,981	NS
RL	1	0,0016	0,0016	0,248	0,621	NS
RQ	1	0,0005	0,0005	0,077	0,782	NS
DESVIO	2	0,0005	0,0003	0,041	0,960	NS
RESIDUO	45	0,2890	0,0064			
TOTAL	49	0,2916				
CV	13,22					
Media geral	0,606					

Análise de variância da regressão e presupostos básicos aos 30DAE para os índices GNDVI, NDVI, GNIR e RNIR calculados com o uso de imagens digitais com o filtro de 850nm ajustado para as doses de nitrogênio aplicadas.

850 GNDVI						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,988	0,900	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	0,603	0,663	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,02665	0,00666	2,145	0,091	NS
RL	1	0,02281	0,02281	7,344	0,009	*
RQ	1	0,00003	0,00003	0,010	0,922	NS
DESVIO	2	0,00381	0,00191	0,613	0,546	NS
RESIDUO	45	0,13979	0,00311			
TOTAL	49	0,16644				
CV	-28315					
Media geral	-0,0002					

850 NDVI			
Variável	n	W	Pr<W
SHAPIRO W.	50	0,940	0,014
	n	Fc	Pr>Fc
LEVENE	50	1,204	0,322

850 GNIR						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,983	0,662	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	0,611	0,657	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,1107	0,0277	2,125	0,093	NS
RL	1	0,0959	0,0959	7,368	0,009	NS
RQ	1	0,0002	0,0002	0,016	0,899	NS
DESVIO	2	0,0145	0,0073	0,558	0,576	NS
RESIDUO	45	0,5859	0,0130			
TOTAL	49	0,6966				
CV	11,33					
Media geral	1,007					

850 RNIR			
Variável	n	W	Pr<W
SHAPIRO W.	50	0,874	0,000 *
	n	Fc	Pr>Fc
LEVENE	50	1,416	0,244 NS



Análise de variância da regressão e pressupostos básicos aos 30DAE para os índices GNDVI, NDVI, GNIR e RNIR calculados com o uso do espectrorradiômetro ajustado para as doses de nitrogênio aplicadas.

Espectrorradiômetro GNDVI						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO	50	0,970	0,227 NS			
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	2,262	0,077 NS			
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,00055	0,00014	0,145	0,964	NS
RL	1	0,00001	0,00001	0,005	0,943	NS
RQ	1	0,00022	0,00022	0,235	0,630	NS
DESVIO	2	0,00032	0,00016	0,170	0,844	NS
RESIDUO	45	0,04241	0,00094			
TOTAL	49					
CV	5,64					
Media geral	0,544					

Espectrorradiômetro NDVI						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,985	0,789 NS			
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	0,673	0,614 NS			
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,0018	0,0004	0,478	0,752	NS
RL	1	0,0000	0,0000	0,002	0,967	NS
RQ	1	0,0010	0,0010	1,143	0,291	NS
DESVIO	2	0,0007	0,0004	0,384	0,683	NS
RESIDUO	45	0,0412	0,0009			
TOTAL	49	0,0429				
CV	5,14					
Media geral	0,588					

Espectroradiômetro GNIR						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,969	0,209	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	2,217	0,082	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,000301	0,000075	0,114	0,977	NS
RL	1	0,000002	0,000002	0,003	0,955	NS
RQ	1	0,000122	0,000122	0,184	0,670	NS
DESVIO	2	0,000178	0,000089	0,134	0,875	NS
RESIDUO	45	0,029798	0,000662			
TOTAL	49	0,030100				
CV	8,71					
Media geral	0,296					

Espectroradiômetro RNIR						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,987	0,869	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	0,607	0,660	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,001043	0,000261	0,459	0,766	NS
RL	1	0,000001	0,000001	0,002	0,968	NS
RQ	1	0,000639	0,000639	1,123	0,295	NS
DESVIO	2	0,000404	0,000202	0,355	0,703	NS
RESIDUO	45	0,025585	0,000569			
TOTAL	49					
CV	9,17					
Media geral	0,260					

## APÊNDICE C

Análise de variância da regressão e pressupostos básicos aos 45DAE para os índices GNDVI, NDVI, GNIR e RNIR calculados com o uso de imagens digitais com o filtro de 720nm ajustado para as doses de nitrogênio aplicadas.

720 GNDVI						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,975	0,357	NS		
LEVENE						
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	1,153	0,344	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,336	0,084	6,221	0,000	*
RL	1	0,237	0,237	17,566	0,000	*
RQ	1	0,070	0,070	5,217	0,027	*
DESVIO	2	0,028	0,014	1,052	0,358	NS
RESIDUO	45	0,608	0,014			
TOTAL	49	0,944				
CV	89,37					
Media geral	0,130					

720 NDVI						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,983	0,677	Ns		
LEVENE						
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	2,502	0,056	Ns		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,483	0,121	5,041	0,002	*
RL	1	0,323	0,323	13,489	0,001	*
RQ	1	0,068	0,068	2,823	0,100	NS
DESVIO	2	0,092	0,046	1,927	0,157	NS
RESIDUO	45	1,078	0,024			
TOTAL	49	1,561				
CV	39,75					
Media geral	0,389					

720 GNIR					
Variável	n	W	Pr<W		
SHAPIRO W.	50	0,971	0,251	NS	
	n	Fc	Pr>Fc		
LEVENE	50	2,360	0,068	NS	
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	4	1,016	0,254	7,205	0,000 *
RL	1	0,711	0,711	20,173	0,000 *
RQ	1	0,230	0,230	6,537	0,014 *
DESVIO	2	0,074	0,037	1,055	0,357 NS
RESIDUO	45	1,586	0,035		
TOTAL	49	2,602			
CV	23,55				
Media geral	0,797				

720 RNIR			
Variável	n	W	Pr<W
SHAPIRO W.	50	0,970	0,226 <sup>ns</sup>
	n	Fc	Pr>Fc
LEVENE	50	4,108	0,0064*

Análise de variância da regressão e pressupostos básicos aos 45DAE para os índices GNDVI, NDVI, GNIR e RNIR calculados com o uso de imagens digitais com o filtro de 850nm ajustado para as doses de nitrogênio aplicadas.

850 GNDVI						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,983	0,687	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	1,153	0,344	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,289	0,072	6,710	0,000	*
RL	1	0,235	0,235	21,817	0,000	*
RQ	1	0,041	0,041	3,814	0,060	NS
DESVIO	2	0,013	0,007	0,605	0,550	NS
RESIDUO	45	0,484	0,011			
TOTAL	49	0,773				
CV	-103,05					
Media geral	-0,101					

850 NDVI						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,983	0,676	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	2,502	0,060	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,501	0,125	4,979	0,002	*
RL	1	0,419	0,419	16,667	0,000	*
RQ	1	0,026	0,026	1,040	0,313	NS
DESVIO	2	0,056	0,028	1,104	0,340	NS
RESIDUO	45	1,132	0,025			
TOTAL	49	1,633				
CV	90,18					
Media geral	0,176					

850 GNIR					
Variável	n	W	Pr<W		
SHAPIRO W.	50	0,985	0,763	NS	
	n	Fc	Pr>Fc		
LEVENE	50	2,360	0,068	NS	
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	4	2,124	0,531	7,792	0,000 *
RL	1	1,674	1,674	24,564	0,000 *
RQ	1	0,337	0,337	4,951	0,031 *
DESVIO	2	0,113	0,056	0,826	0,444 NS
RESIDUO	45	3,067	0,068		
TOTAL	49	5,192			
CV	20,59				
Media geral	1,268				

850 RNIR			
Variável	n	W	Pr<W
SHAPIRO W.	50	0,969	0,204 NS
	n	Fc	Pr>Fc
LEVENE	50	4,108	0,006 *

Análise de variância da regressão e pressupostos básicos aos 45DAE para os índices GNDVI, NDVI, GNIR e RNIR calculados com o uso do espectrorradiômetro ajustado para as doses de nitrogênio aplicadas.

Espectrorradiômetro GNDVI						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,990	0,955	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	0,400	0,807	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,031	0,008	3,645	0,012	*
RL	1	0,006	0,006	2,704	0,107	NS
RQ	1	0,017	0,017	7,809	0,008	*
DESVIO	2	0,009	0,004	2,034	0,143	NS
RESIDUO	45	0,097	0,002			
TOTAL	49	0,128				
CV	8,71					
Media geral	0,532					

Espectrorradiômetro NDVI						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,970	0,233	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	0,527	0,716	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,018	0,004	1,589	0,194	NS
RL	1	0,003	0,003	1,029	0,316	NS
RQ	1	0,007	0,007	2,378	0,130	NS
DESVIO	2	0,008	0,004	1,475	0,240	NS
RESIDUO	45	0,125	0,003			
TOTAL	49	0,142				
CV	9,48					
Media geral	0,555					

Espectroradiômetro GNIR						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,991	0,974	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	0,326	0,859	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,023	0,006	3,724	0,011	*
RL	1	0,004	0,004	2,816	0,100	NS
RQ	1	0,012	0,012	7,871	0,007	*
DESVIO	2	0,007	0,003	2,105	0,134	NS
RESIDUO	45	0,070	0,002			
TOTAL	49	0,093				
CV	12,82					
Media geral	0,30718					

Espectroradiômetro RNIR						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,959	0,078	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	0,481	0,749	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,012	0,003	1,538	0,207	NS
RL	1	0,002	0,002	1,086	0,303	NS
RQ	1	0,005	0,005	2,274	0,139	NS
DESVIO	2	0,006	0,003	1,396	0,258	NS
RESIDUO	45	0,089	0,002			
TOTAL	49	0,101				
CV	15,47					
Media geral	0,288					



## APÊNDICE D

Análise de variância da regressão e pressupostos básicos aos 60DAE para os índices GNDVI, NDVI, GNIR e RNIR calculados com o uso de imagens digitais com o filtro de 720nm ajustado para as doses de nitrogênio aplicadas.

720 GNDVI					
Variável	n	W	Pr<W		
SHAPIRO W.	50	0,963	0,123	NS	
	n	Fc	Pr>Fc		
LEVENE	50	1,424	0,241	NS	
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	4	0,533	0,133	19,395	0,000 *
RL	1	0,327	0,327	47,652	0,000 *
RQ	1	0,200	0,200	29,056	0,000 *
DESVIO	2	0,006	0,003	0,436	0,650 NS
RESIDUO	45	0,309	0,007		
TOTAL	49	0,842			
CV	21,03				
Media geral	0,394				

720 NDVI					
Variável	n	W	Pr<W		
SHAPIRO W.	50	0,989	0,917	NS	
	n	Fc	Pr>Fc		
LEVENE	50	1,694	0,168	NS	
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	4	0,422	0,106	9,925	0,000 *
RL	1	0,247	0,247	23,175	0,000 *
RQ	1	0,174	0,174	16,317	0,000 *
DESVIO	2	0,002	0,001	0,104	0,901 NS
RESIDUO	45	0,479	0,011		
TOTAL	49	0,901			
CV	23,00				
Media geral	0,448				

720 GNIR						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,982	0,648	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	0,794	0,535	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,606	0,151	22,363	0,000	*
RL	1	0,364	0,364	53,700	0,000	*
RQ	1	0,240	0,240	35,502	0,000	*
DESVIO	2	0,002	0,001	0,124	0,884	NS
RESIDUO	45	0,305	0,007			
TOTAL	49	0,910				
CV	18,41					
Media geral	0,447					

720 RNIR						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,990	0,948	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	1,063	0,386	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,412	0,103	10,792	0,000	*
RL	1	0,238	0,238	24,923	0,000	*
RQ	1	0,170	0,170	17,865	0,000	*
DESVIO	2	0,004	0,002	0,190	0,827	NS
RESIDUO	45	0,429	0,010			
TOTAL	49	0,841				
CV	24,75					
Media geral	0,395					

Análise de variância da regressão e pressupostos básicos aos 60DAE para os índices GNDVI, NDVI, GNIR e RNIR calculados com o uso de imagens digitais com o filtro de 850nm ajustado para as doses de nitrogênio aplicadas.

850 GNDVI						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,967	0,173	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	1,788	0,148	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,618	0,154	17,642	0,000	*
RL	1	0,386	0,386	44,099	0,000	*
RQ	1	0,222	0,222	25,362	0,000	*
DESVIO	2	0,010	0,005	0,553	0,579	NS
RESIDUO	45	0,394	0,009			
TOTAL	49	1,012				
CV	33,09					
Media geral	0,2828					

850 NDVI						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,981	0,606	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	2,286	0,075	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,494	0,123	10,906	0,000	*
RL	1	0,306	0,306	27,016	0,000	*
RQ	1	0,187	0,187	16,480	0,000	*
DESVIO	2	0,001	0,001	0,064	0,938	NS
RESIDUO	45	0,509	0,011			
TOTAL	49	1,003				
CV	31,17					
Media geral	0,341					

850 GNIR						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,987	0,859	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	2,013	0,109	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	1,015	0,254	19,742	0,000	*
RL	1	0,606	0,606	47,144	0,000	*
RQ	1	0,402	0,402	31,305	0,000	*
DESVIO	2	0,007	0,003	0,259	0,773	NS
RESIDUO	45	0,578	0,013			
TOTAL	49	1,593				
CV	19,59					
Media geral	0,579					

850 RNIR						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,966	0,154	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	1,50	0,22	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,685	0,171	11,687	0,000	*
RL	1	0,397	0,397	27,093	0,000	*
RQ	1	0,287	0,287	19,604	0,000	*
DESVIO	2	0,001	0,000	0,024	0,976	NS
RESIDUO	45	0,659	0,015			
TOTAL	49	1,343				
CV	23,81					
Media geral	0,508					

Análise de variância da regressão e pressupostos básicos aos 60DAE para os índices GNDVI, NDVI, GNIR e RNIR calculados com o uso do espectrorradiômetro ajustado para as doses de nitrogênio aplicadas.

Espectrorradiômetro GNDVI						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,983	0,673	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	1,898	0,127	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,045	0,011	3,783	0,010	*
RL	1	0,006	0,006	1,971	0,167	NS
RQ	1	0,031	0,031	10,400	0,002	*
DESVIO	2	0,008	0,004	1,381	0,262	NS
RESIDUO	45	0,134	0,003			
TOTAL	49	0,178				
CV	10,45					
Media geral	0,521					

Espectrorradiômetro NDVI						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,974	0,331	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	2,459	0,060	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,021723	0,005431	1,647	0,179	NS
RL	1	0,000001	0,000001	0,000	0,984	NS
RQ	1	0,016427	0,016427	4,981	0,031	*
DESVIO	2	0,005295	0,002648	0,803	0,454	NS
RESIDUO	45	0,148412	0,003298			
TOTAL	49	0,170136				
CV	10,16					
Media geral	0,565					

Espectroradiômetro GNIR						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,982	0,622	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	1,818	0,142	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,035	0,009	3,957	0,008	*
RL	1	0,004	0,004	1,994	0,165	NS
RQ	1	0,024	0,024	11,073	0,002	*
DESVIO	2	0,006	0,003	1,381	0,262	NS
RESIDUO	45	0,100	0,002			
TOTAL	49	0,135				
CV	14,84					
Media geral	0,31685					

Espectroradiômetro RNIR			
Variável	n	W	Pr<W
SHAPIRO W.	50	0,965	0,138
	n	Fc	Pr>Fc
LEVENE	50	2,634	0,046

## APÊNDICE E

Análise de variância da regressão e pressupostos básicos aos 80DAE para os índices GNDVI, NDVI, GNIR e RNIR calculados com o uso de imagens digitais com o filtro de 720nm ajustado para as doses de nitrogênio aplicadas.

720 GNDVI					
Variável	n	W	Pr<W		
SHAPIRO W.	50	0,981	0,597	NS	
	n	Fc	Pr>Fc		
LEVENE	50	2,435	0,061	NS	
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	4	0,428	0,107	22,423	0,000 *
RL	1	0,271	0,271	56,834	0,000 *
RQ	1	0,149	0,149	31,340	0,000 *
DESVIO	2	0,007	0,004	0,758	0,474 NS
RESIDUO	45	0,215	0,005		
TOTAL	49	0,642			
CV	17,74				
Media geral	0,389				

720 NDVI			
Variável	n	W	Pr<W
SHAPIRO W.	50	0,990	0,943 NS
	n	Fc	Pr>Fc
LEVENE	50	3,358	0,017 *

720 GNIR					
Variável	n	W	Pr<W		
SHAPIRO W.	50	0,982	0,641	NS	
	n	Fc	Pr>Fc		
LEVENE	50	1,174	0,335	NS	
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	4	0,527	0,132	26,581	0,000 *
RL	1	0,325	0,325	65,489	0,000 *
RQ	1	0,186	0,186	37,529	0,000 *
DESVIO	2	0,016	0,008	1,653	0,203 NS
RESIDUO	45	0,223	0,005		
TOTAL	49	0,750			
CV	15,66				
Media geral	0,450				

720 RNIR					
Variável	n	W	Pr<W		
SHAPIRO W.	50	0,980	0,548	NS	
	n	Fc	Pr>Fc		
LEVENE	50	1,195	0,326	NS	
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	4	0,398	0,100	30,87	0,00 *
RL	1	0,180	0,180	55,90	0,00 *
RQ	1	0,193	0,193	59,93	0,00 *
DESVIO	2	0,025	0,012	3,82	0,03 *
RESIDUO	45	0,145	0,003		
TOTAL	49	0,543			
CV	15,62				
Media geral	0,363				



Análise de variância da regressão e pressupostos básicos aos 80DAE para os índices GNDVI, NDVI, GNIR e RNIR calculados com o uso de imagens digitais com o filtro de 850nm ajustado para as doses de nitrogênio aplicadas.

850 GNDVI						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,966	0,166	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	1,339	0,270	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,538	0,134	35,033	0,000	*
RL	1	0,334	0,334	87,084	0,000	*
RQ	1	0,194	0,194	50,606	0,000	*
DESVIO	2	0,009	0,005	1,221	0,304	NS
RESIDUO	45	0,173	0,004			
TOTAL	49	0,710				
CV	24,63					
Media geral	0,251					

850 NDVI						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,974	0,330	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	1,954	0,1179	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,499	0,125	25,834	0,000	*
RL	1	0,252	0,252	52,085	0,000	*
RQ	1	0,225	0,225	46,515	0,000	*
DESVIO	2	0,023	0,011	2,367	0,105	NS
RESIDUO	45	0,217	0,005			
TOTAL	49	0,717				
CV	19,99					
Media geral	0,348					

850 GNIR						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,979	0,531	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	0,504	0,733	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,971	0,243	38,795	0,000	*
RL	1	0,604	0,604	96,429	0,000	*
RQ	1	0,358	0,358	57,131	0,000	*
DESVIO	2	0,010	0,005	0,810	0,451	NS
RESIDUO	45	0,282	0,006			
TOTAL	49	1,253				
CV	12,91					
Media geral	0,613					

850 RNIR						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,984	0,728	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	0,681	0,609	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,672	0,168	30,931	0,000	*
RL	1	0,344	0,344	63,299	0,000	*
RQ	1	0,296	0,296	54,495	0,000	*
DESVIO	2	0,032	0,016	29,650	0,062	NS
RESIDUO	45	0,245	0,005			
TOTAL	49	0,917				
CV	14,86					
Media geral	0,496					

Análise de variância da regressão e pressupostos básicos aos 80DAE para os índices GNDVI, NDVI, GNIR e RNIR calculados com o uso do espectrorradiômetro ajustado para as doses de nitrogênio aplicadas.

Espectrorradiômetro GNDVI						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,973	0,294	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	1,055	0,390	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,236	0,059	51,939	0,000	*
RL	1	0,145	0,145	127,711	0,000	*
RQ	1	0,087	0,087	76,733	0,000	*
DESVIO	2	0,004	0,002	1,655	0,203	NS
RESIDUO	45	0,051	0,001			
TOTAL	49	0,287				
CV	6,76					
Media geral	0,498					

Espectrorradiômetro NDVI						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,968	0,195	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	0,682	0,608	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,147	0,037	37,952	0,000	*
RL	1	0,082	0,082	85,144	0,000	*
RQ	1	0,061	0,061	62,861	0,000	*
DESVIO	2	0,004	0,002	1,901	0,161	NS
RESIDUO	45	0,043	0,001			
TOTAL	49	0,190				
CV	5,45					
Media geral	0,570					

Espectroradiômetro GNIR						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,965	0,150	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	0,847	0,503	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,2040	0,0510	56,144	0,000	*
RL	1	0,1233	0,1233	135,744	0,000	*
RQ	1	0,0757	0,0757	83,310	0,000	*
DESVIO	2	0,0050	0,0025	2,760	0,074	NS
RESIDUO	45	0,0409	0,0009			
TOTAL	49	0,2448				
CV	8,9					
Media geral	0,338					

Espectroradiômetro RNIR						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,967	0,167	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	1,476	0,225	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,105	0,026	39,119	0,000	*
RL	1	0,058	0,058	86,612	0,000	*
RQ	1	0,043	0,043	64,667	0,000	*
DESVIO	2	0,003	0,002	2,598	0,086	NS
RESIDUO	45	0,030	0,001			
TOTAL	49	0,135				
CV	9,38					
Media geral	0,276					

## APÊNDICE F

Análise de variância da regressão e pressupostos básicos aos 80DAE para os atributos avaliados no milho ajustado para as doses de nitrogênio aplicadas.

Massa Seca						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,957	0,066 <sup>ns</sup>			
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	0,907	0,468 <sup>ns</sup>			
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	572,726	143,181	2,715	0,042	*
RL	1	10,613	10,613	0,201	0,656	<sup>ns</sup>
RQ	1	468,948	46,895	8,891	0,005	*
DESVIO	2	93,165	46,582	0,883	0,421	<sup>ns</sup>
RESIDUO	45	2373,522	5274,493			
TOTAL	49	2946,247				
CV	28,9					
Media geral	25,132					

Massa Fresca			
Variável	n	W	Pr<W
SHAPIRO W.	50	0,969	0,204 <sup>NS</sup>
	n	Fc	Pr>Fc
LEVENE	50	2,584	0,0497 <sup>*</sup>

Área Foliar						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,974	0,320	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	1,740	0,158	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	0,057	0,014	2,679	0,044	*
RL	1	0,004	0,004	0,785	0,380	ns
RQ	1	0,051	0,051	9,605	0,003	*
DESVIO	2	0,002	0,001	0,164	0,850	ns
RESIDUO	45	0,240	0,005			
TOTAL	49	0,297				
CV	30,87					
Media geral	0,237					

Nitrogênio Foliar						
Variável	n	W	Pr<W			
SHAPIRO W.	50	0,975	0,363	NS		
	n	Fc	Pr>Fc			
LEVENE	50	2,103	0,096	NS		
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
TRAT	4	17,236	4,309	30,070	0,000	*
RL	1	16,662	16,662	116,277	0,000	*
RQ	1	0,214	0,214	1493,000	0,228	NS
DESVIO	2	0,360	0,180	1255,000	0,295	NS
RESIDUO	45	6,448	0,143			
TOTAL	49	23,684				
CV	19,61					
Media geral	19,302					