

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO-PR

**NDVI, CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE
CULTIVARES DE TRIGO SUBMETIDAS A DOSES DE
NITROGÊNIO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ADRIANO LUIZ LODI RISSINI

GUARAPUAVA-PR

2011

ADRIANO LUIZ LODI RISSINI

**NDVI, CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE TRIGO
SUBMETIDAS A DOSES DE NITROGÊNIO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dra. Aline Marques Genú
Orientadora

Prof. Dr. Marcio Furlan Maggi
Co-orientador

GUARAPUAVA-PR

2011

Catálogo na Publicação
Biblioteca Central da UNICENTRO, Campus Guarapuava

Rissini, Adriano Luiz Lodi
R596n NDVI, crescimento e produtividade de cultivares de trigo submetidas a doses de nitrogênio / Adriano Luiz Lodi Rissini. -- Guarapuava, 2011
viii, 53 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, 2011

Orientador: Aline Marques Genú

Co-orientador: Marcio Furlan Maggi

Banca examinadora: Marcelo Marques Lopes Müller, Jackson Kawakami

Bibliografia

1. Trigo - cultivares. 2. Sensoriamento remoto. 3. Índice de vegetação. 4. *Triticum aestivum*. I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

CDD 633.11

ADRIANO LUIZ LODI RISSINI

**NDVI, CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE TRIGO
SUBMETIDAS A DOSES DE NITROGÊNIO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 04 de Julho de 2011

Prof. Dr. Marcelo Marques Lopes Müller – UNICENTRO

Prof. PhD. Jackson Kawakami – UNICENTRO

Prof(a). Dr(a). Aline Marques Genú - UNICENTRO

Orientadora

Prof. Dr. Marcio Furlan Maggi - UNIOESTE

Co-orientador

GUARAPUAVA-PR

2011

A Deus, por iluminar e me dar forças na minha caminhada profissional.

OFEREÇO

Aos meus pais Aquilino Lodi Rissini e Inir Maria G. Lodi Rissini, pela vida e pelo contínuo apoio e incentivo.

A minha esposa Gisele Lodi Rissini pelo amor, carinho, paciência e compreensão que teve ao longo dos meus estudos.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Centro-Oeste, pela oportunidade de aprendizagem e a realização do Mestrado.

A Professora e amiga Aline Marques Genú e ao Professor e amigo Marcio Furlan Maggi, por todo suporte técnico na realização do Mestrado.

A FAPA – Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, a qual me possibilitou a realização do trabalho experimental.

Ao amigo Fabrício Pinheiro Povh, Pesquisador da Fundação ABC e Giuliano Echeverria, pela disponibilização de equipamentos e auxílio para a realização do trabalho.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

Resumo	i
Abstract	ii
1 Introdução	1
2 Objetivos	3
2.1 Objetivo Geral.....	3
2.2 Objetivos Específicos.....	3
3 Referencial Teórico	4
3.1 Trigo	4
3.2 Adubação nitrogenada do trigo	5
3.3 Sensoriamento remoto.....	7
4 Materiais e Métodos	12
4.1 Local do Experimento.....	12
4.1.1 Caracterização Climática.....	12
4.1.2 Caracterização do Solo.....	14
4.2 Cultivares.....	15
4.3 Implantação da Cultura.....	16
4.4 Delineamento Experimental.....	17
4.5 Sensores, GPS e Softwares.....	17
4.6 Avaliações.....	20
4.6.1 Leitura de NDVI.....	21
4.6.2 Massa Seca.....	21
4.6.3 Teor Foliar de N.....	22
4.6.4 Produtividade.....	22
4.7 Análise Estatística.....	22
5 Resultados e Discussão	23
5.1 Influência das cultivares nas leituras de NDVI.....	23
5.2 Efeitos da dose de N nas variáveis MS, teor foliar de N e produtividade.....	27
5.3 Efeito da dose de N nas leituras de NDVI.....	30
5.4 Relação entre NDVI e variáveis MS e teor foliar de N.....	34
5.5 Relação entre massa seca e produtividade.....	38
5.6 NDVI para estimativa de produtividade.....	39
5.7 Comparativo entre os sensores.....	41
6 Conclusões	44
7 Referências Bibliográficas	45

RESUMO

Adriano Luiz Lodi Rissini. NDVI, crescimento e produtividade de cultivares de trigo submetidas a doses de nitrogênio.

O nitrogênio (N) é um dos elementos mais importante para o desenvolvimento das plantas e altamente instável no solo. Variáveis como massa seca (MS) e quantidade de clorofila na folha, são componentes importantes na planta, que, quando mensurados durante o seu desenvolvimento, podem ser utilizadas para a estimativa do potencial produtivo da cultura, que por sua vez, pode ser utilizada na quantificação da dose de N a ser aplicada. Técnicas de sensoriamento remoto, através de dados de reflectância, de ondas eletromagnéticas incidentes no dossel da cultura, podem promover a quantificação destas variáveis. Neste sentido, o objetivo deste trabalho, foi avaliar o uso do NDVI, como ferramenta para estimativa de produtividade de cultivares de trigo submetidas a doses de N. O experimento foi conduzido no Município de Guarapuava – PR. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso e seguiu o esquema fatorial de 4x5 com 4 cultivares e 5 doses de N. As avaliações realizadas compreenderam as leituras de NDVI obtidas por sensor passivo e ativo, MS da parte aérea nos estádios fenológicos Feeks 3, 8 e 10.5.1, teor foliar de N e produtividade. Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5 % de significância. Também procederam-se, análises de regressão e correlação de Pearson a 1 % de significância. Constataram-se diferenças significativas nas leituras de NDVI para as cultivares em cada dose de N e estágio fenológico, em ambos os sensores. Resultados de coeficientes de determinação superiores a 0,85 e 0,81, para MS e NDVI, 0,70 e 0,71 para teor foliar de N e NDVI, 0,92 e 0,90 para NDVI e produtividade, foram encontrados, respectivamente para o sensor passivo e ativo nas cultivares. Foi possível gerar um modelo de estimativa de produtividade ainda no início do desenvolvimento da cultura. Diferenças significativas entre os sensores, para leituras de NDVI foram encontradas em todas as cultivares e estádios fenológicos. No entanto, o sensor passivo, mesmo dependente da radiação solar, demonstrou-se eficiente na obtenção de dados de NDVI, quando comparado ao sensor ativo, obtendo-se valores de correlação de Pearson, superior a 0,97.

Palavras-Chave: Sensoriamento Remoto, Índice de Vegetação e *Triticum aestivum*.

ABSTRACT

Adriano Luiz Lodi Rissini. NDVI, growth and yield of wheat cultivars under nitrogen doses.

The nitrogen (N) is one of the most important elements for plants development and highly unstable in soil. Variables such as dry matter (DM) and amount of chlorophyll on leaves, are important components in the plant, which, when measured during development, can be used to estimate the production potential, which can be used in quantification of N rate to be applied. Remote sensing techniques, using reflectance data of incident, electromagnetic waves on the crop canopy, can assist the quantification of these variables. In this sense, the objective of this study was to evaluate the use of NDVI as a tool for estimating the productivity of wheat cultivars under doses of N. The experiment was conducted in Guarapuava - PR. The experimental design was random blocks and followed a 4x5 factorial design with four cultivars and five N rates. The evaluations were done in the NDVI readings obtained by passive and active sensor, DM of the aerial part at the phenological stages Feeks 3, 8 and 10.5.1, foliar N content and productivity. Data were subjected to analysis of variance and Tukey test at 5% significance. Regression analysis and Pearson correlation significance at 1% were also done. It was found significant differences in the readings of cultivars in NDVI for each N rate and phenological stage in both sensors. Results of determination coefficients higher than 0.85 and 0.81 for DM and NDVI, 0.70 and 0.71 for foliar content N and NDVI, 0.92 and 0.90 for NDVI and productivity were found respectively for passive and active sensor in cultivars. It was possible to generate a model to estimate productivity in the early stages in the culture development. Significant differences between the sensors, for NDVI readings were found in all cultivars and phenological stages. However, the passive sensor, even dependent on solar radiation, was efficient in obtaining NDVI data compared to the active sensor, obtaining values of Pearson correlation higher than 0.97.

Keywords: Remote sensing, Vegetation Index and *Triticum aestivum*.

1 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é cultivado em mais de 124 países (FAO, 2010). No Brasil, a cultura tem grande importância econômica para a região Sul do País, onde especificamente na região de Guarapuava, Estado do Paraná, atinge-se elevados patamares produtivos. Dentre os fatores que respondem diretamente à produtividade da cultura, além do potencial do genótipo e clima, destaca-se a adubação nitrogenada.

O nitrogênio (N) é um dos elementos importantes para o desenvolvimento das plantas e também o mais preocupante ao meio ambiente. A recomendação de N para a cultura de trigo normalmente é definida por estudos de calibração, considerando-se variáveis como cultura antecessora, teor de matéria orgânica no solo e estimativa de produtividade. A suplementação em doses inadequadas de N às plantas pode promover prejuízos econômicos ao produtor, bem como aumentar os riscos de doenças na população. Doses subestimadas de N comprometem o potencial produtivo da cultura. No entanto, quando se utilizam doses excessivas, grande parte do N exposto ao solo é perdido do ambiente local de produção, por processos de volatilização, lixiviação e erosão, podendo poluir a atmosfera, lençóis freáticos, rios e reservatórios de água. Para tanto, há a necessidade de técnicas eficientes na determinação da dose de N a ser aplicada.

De acordo com Gastal & Lemaire (2002), a absorção de N pelas culturas varia entre locais dentro de um mesmo talhão, bem como de safra para safra independentemente da quantidade de N fornecido, uma vez que o elemento no solo sofre inúmeras transformações químicas, caracterizando a demanda da cultura, muitas vezes, independentemente das variáveis mencionadas para a recomendação da dose a ser aplicada.

O N na planta é integrante de inúmeras moléculas orgânicas, dentre as quais, a clorofila, pigmento receptor da energia luminosa incidente, utilizada como propulsor da fotossíntese e vital ao desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas. A quantidade de MS por planta ou o teor de N no tecido foliar, bem como a quantidade de clorofila nas folhas são formas precisas de expressar o potencial produtivo da cultura e conseqüentemente a possível resposta da planta ao N. Porém, a amostragem a campo e o processo de determinação laboratorial são demorados, resultando em um procedimento de custo elevado.

Técnicas de sensoriamento remoto podem ser utilizadas a fim de gerar informações adicionais no momento da recomendação da adubação nitrogenada. Logo, dados da resposta espectral do dossel da cultura, caracterizados pelo processo de reflectância de ondas eletromagnéticas incidentes, podem ser utilizados como indicadores indiretos do status

nutricional da cultura, bem como do potencial produtivo. Esses dados são obtidos via sensores, classificados em ativos (quando possuem fonte própria de energia que incida sob as plantas) e passivos (quando dependem da radiação solar como fonte de energia).

Existem dois comprimentos de onda apresentam relação direta com variáveis na planta, intimamente relacionadas com a produtividade: ondas do espectro do vermelho (V), cuja reflectância é menor em condições de maior quantidade de clorofila e ondas do espectro do infravermelho (IV), cuja reflectância é maior quanto maior for o acúmulo de MS na planta.

A reflectância medida pode sofrer interferência de fatores externos a cultura o que pode ser solucionado parcialmente através da utilização de índices de vegetação. O índice de vegetação por diferença normalizada, mundialmente conhecido como NDVI, utiliza dados de reflectância do vermelho e infravermelho, sendo calculado pela equação $NDVI = (P_{IV} - P_V) / (P_{IV} + P_V)$, onde P_{IV} e P_V são as reflectâncias no infravermelho próximo e no vermelho, respectivamente. Os valores de NDVI vão de uma escala de -1 a 1. Quanto maiores os valores do NDVI, maiores as diferenças entre a reflectância do infravermelho com o vermelho, o que indica maior quantidade de clorofila e MS e, conseqüentemente, maior o potencial produtivo da planta.

Logo, sendo possível se estimar a produtividade, mesmo que de forma indireta, é possível se aplicar doses de N de forma mais racional e precisa, de acordo com o potencial e resposta da cultura a esta adubação, visando a redução no consumo do fertilizante, sem afetar a produtividade, reduzindo os efeitos do N como poluente, bem como os gastos desnecessários ao produtor.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o uso do NDVI, como ferramenta para estimar a produtividade de cultivares de trigo submetidas a doses de N.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o efeito de diferentes cultivares de trigo e sensores nas leituras de NDVI;
- Avaliar a associação do NDVI com parâmetros do trigo ligados ao potencial produtivo da cultura ao longo do ciclo de desenvolvimento;
- Gerar um modelo de estimativa de produtividade através de leituras de NDVI para possível utilização na adubação nitrogenada da cultura do trigo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Trigo

O trigo é um cereal da família das Poáceas (Gramíneas), originário da antiga Mesopotâmia (Síria, Jordânia, Turquia e Iraque). Há relatos de que o cultivo de trigo tenha sido iniciado no Brasil em 1534 na antiga Capitania de São Vicente e a partir de 1940, começou a ser cultivado comercialmente no Rio Grande do Sul, estendendo-se posteriormente ao Paraná através da entrada de sementes provenientes da Europa. De ciclo anual, é cultivado no Brasil durante o inverno e a primavera, sendo consumido de diversas formas na culinária, como biscoitos, pães, massas, bolos e inclusive destinado à produção animal, quando não atinge o padrão de qualidade exigido para o consumo humano (EMBRAPA, 2010). O grão do trigo, além de ser um excelente fornecedor de carboidratos, fibras, proteínas, ferro e vitaminas B1 e B2, possui exclusivamente o glúten, conjunto de proteínas insolúveis, que quando misturada à água garante o crescimento da massa (Silva et al., 1996).

Dentre os cereais cultivados no mundo, o trigo se destaca em primeiro lugar quanto ao volume de produção, atingindo cerca de 683,807 milhões de toneladas com produtividade média de 3 t ha⁻¹ na safra de 2009/2010. Os maiores produtores mundiais são a União Européia, China, Índia, Rússia, EUA e Canadá (USDA, 2010).

Na safra 2009/2010, cultivou-se no território brasileiro 2.428.000 ha de trigo, obtendo-se uma produção de 5.026.300 de toneladas. A maior concentração de cultivo ficou localizada no Estado do Paraná, região Sul, com 1.299,6 mil ha, (53,5%), seguido por Rio Grande do Sul, com 859,8 mil ha (35,4%), Santa Catarina, com 117,0 ha (4,8%), São Paulo, com 61,3 mil ha (2,5%), Mato Grosso do Sul, com 42,4 mil ha (1,7%), Minas Gerais, com 22,8 mil ha (0,9%), Goiás, com 22,6 mil ha (0,9%) e Distrito Federal, com 2,5 mil ha (0,1%) (CONAB, 2010). No município de Guarapuava/PR, a produção chegou a 159,6 mil toneladas, com produtividade média superior à mundial de 3,1 t ha⁻¹ (SEAB, 2010).

O consumo anual de trigo no Brasil é de aproximadamente 60 kg por habitante, correspondendo a, aproximadamente, uma demanda de 10 milhões de toneladas, o que faz do país um grande importador do cereal (EMBRAPA, 2010). Segundo Mundstock (1999), os principais fatores responsáveis pela falta do cereal em quantidades suficientes para suprir a demanda do país são: a falta de incentivo à produção, a pequena área cultivada e os baixos tetos de produtividade.

De acordo com Schuch et al. (2000), o trigo é uma das principais alternativas de

cultivo de inverno. Além disso, o incremento de quantidade de palha no sistema de produção agrícola tem importante papel na redução da erosão do solo, bem como promove o sucesso do sistema de plantio direto na palha. Colle (1998), estima que o cultivo de culturas de inverno pode reduzir cerca de 20% dos custos para as culturas de verão, através de seus benefícios ao sistema quanto a fertilidade do solo e ciclagem de nutrientes.

3.2 Adubação nitrogenada do trigo

Recentemente pesquisas de melhoramento genético tem resultado no lançamento de inúmeras cultivares de elevado potencial produtivo o que vem estimulando a utilização em maiores quantidades de insumos. De acordo com Zagonel et al. (2002), o nitrogênio, dentre os elementos componentes da adubação é o que mais tem limitado os patamares produtivos na cultura do trigo.

Na natureza o N é um dos elementos mais abundantes, no entanto, na forma gasosa de N_2 , o qual não está prontamente disponível para as plantas. Grande parte do reservatório de N no solo, cerca de 95%, está ligado à cadeia carbônica da matéria orgânica e menos de 5% do N total está em formas inorgânicas como íon amônio (NH_4^+) e o íon nitrato (NO_3^-) (Sá, 1996). Não obstante, são nas formas inorgânicas de N que as plantas o absorvem. Assim, transformações de formas de N no solo, denominadas de mineralização e imobilização, afetam diretamente a disponibilização deste às plantas. A mineralização consiste na passagem do N-mineral em N-orgânico e a imobilização, na passagem de N-mineral para as formas orgânicas (Raij, 1991).

Pela mineralização da matéria orgânica liberam-se substâncias orgânicas, como húmus e ácidos orgânicos e mineralizadas, como gás carbônico, água, nitratos, fosfatos, sulfatos, formas amoniacais, dentre outros, sendo este processo favorecido em regiões úmidas e quentes, bem como em resíduos vegetais com baixa relação C/N (Calegari et al., 1998). A imobilização consiste na incorporação do N na forma mineral no protoplasma dos microorganismos, favorecida em situações de resíduos vegetais com alta relação C/N, muito acima das encontradas em solos cultivados bem drenados, ou na incorporação de restos orgânicos frescos, cuja relação é elevada (Raij, 1991). De acordo com Malavolta (1979), o fator de maior importância depois do clima, para produção de MS e produtividade é a disponibilidade de N para as plantas.

Ernani (2003) ressalta que o N é um dos nutrientes mais difíceis de manejar nos solos de regiões subtropicais, devido à alta instabilidade deste no solo, uma vez que está sujeito a

um grande número de reações. Geralmente, a dose a ser aplicada para a cultura em questão corresponde ao resultado de uma série de estudos de calibração e normalmente é determinada pela produção de biomassa associada às necessidades fisiológicas dos tecidos (Gastal & Lemaire, 2002). De acordo com Fontoura (2005), a recomendação na região de Guarapuava/PR pode ser definida em função da expectativa de rendimento da cultura, teor de matéria orgânica do solo e cultura antecessora.

A recomendação de adubação nitrogenada para o trigo no Estado do Paraná é de 10 a 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura e de 30 a 60 kg ha⁻¹ de N em cobertura, quando precedido pela cultura de soja e de 25 a 50 kg ha⁻¹ de N na semeadura e de 30 a 90 kg ha⁻¹ de N em cobertura, quando precedido pela cultura do milho (EMBRAPA, 2010).

Respostas em produtividade em trigo são normalmente maiores quando o fertilizante é aplicado após cultura de leguminosas, sendo estes retratados por estudos de Badaruddin & Meyer (1994), quando avaliaram a produtividade de trigo implantada após a cultura de soja, bem como por Miller & Dexter (1982) que observaram nas mesmas condições, elevação na produtividade de 15%, fato este explicado pela menor relação C/N quando comparado a cultura de milho.

O suprimento de N, afeta fortemente o crescimento, a morfologia e a distribuição do sistema radicular no perfil do solo. Na planta, o N é constituinte de proteínas, enzimas, ácidos nucléicos e citocromos e principalmente, integrante da molécula de clorofila (Bull, 1993), além de participar de uma série de rotas metabólicas-chave em sua bioquímica, sendo constituinte de biomoléculas como ATP, NADH, NADPH (Harper, 1994).

Segundo Frank & Bauer (1996), na falta de N no período de emergência das plântulas até a diferenciação do primórdio floral, há redução no número de espigas por área, formação de espigueta por espiga e massa de 1000 grãos de trigo.

O sintoma de deficiência de N na planta é caracterizado pelo aparecimento de clorose generalizada das folhas, iniciando-se pelas folhas mais velhas (Carvalho et al., 2003), podendo até mesmo promover a morte das folhas inferiores, ficando o tecido com a coloração marrom-chocolate. Esta é causada principalmente pela baixa disponibilidade de N pela matéria orgânica, perdas de N pela lixiviação, volatilização, desnitrificação e erosão (IPNI, 2007). Harmell et al. (2004), caracterizam as principais causas da baixa eficiência na aplicação de N devido à baixa sincronia entre o fornecimento do solo e a demanda da cultura, aplicações uniformes de N em áreas com variabilidade espacial, variabilidade temporal e influência do clima.

A aplicação de doses em excesso pode promover a contaminação ambiental, bem

como, em quantidades inferiores ao necessário, a redução de produtividade da cultura. Logo, práticas de agricultura de precisão, especificamente através da utilização de sensores (Molin, 2001), podem auxiliar na quantificação da dose de N a ser aplicada mesmo em tempo real, através de leituras diretamente na planta, promovendo a adubação na dose adequada à cultura. Esta técnica trata cada parcela da uma mesma área de forma diferenciada, diferente da agricultura convencional que, mesmo reconhecendo a variabilidade na fertilidade do solo, trata as áreas como homogênea (Inman et al., 2005).

3.3 Sensoriamento remoto

Técnicas de sensoriamento remoto podem promover de forma indireta, informações do estado nutricional da planta, bem como, do seu potencial produtivo e auxiliar na quantificação da dose de N a ser aplicada no trigo (Serrano et al., 2000).

O sensoriamento remoto pode ser definido como a detecção da natureza de um objeto sem que haja contato direto entre o referido objeto e o sistema sensor. Todos os materiais da superfície terrestre com temperatura superior a zero absoluto (0°K) podem emitir, refletir, transmitir ou absorver seletivamente a Radiação Eletromagnética (REM). Na maioria das vezes, contudo, o uso do sensoriamento remoto em estudos da vegetação inclui a reflectância como o fenômeno físico mais analisado (Ponzoni, 2001). A fonte de Energia Eletromagnética mais importante para o sensoriamento remoto é a radiação solar para os sensores passivos, sendo estes normalmente orbitais. No entanto, há sensores ativos que possuem sua própria fonte de energia, e funcionam independentemente da radiação solar.

O registro da informação se dá através da captura de ondas refletidas pelo alvo constituído por bandas do espectro eletromagnético, sendo que cada banda compreende uma faixa de comprimento de onda específico. O olho humano tem sensibilidade de capturar imagens que compreendem a faixa do espectro visível, relativamente estreito, entre 400 e 700 nm. A imagem digital gerada é uma função bidimensional de intensidade de energia eletromagnética refletida ou emitida, no caso das bandas termais, representada por uma matriz $f(x, y)$, onde os valores de f são resultantes da intensidade (brilho) dos materiais da área correspondente ao *pixel* de coordenada (x, y) (Crosta, 1993).

Quanto ao comportamento espectral de uma planta exposta a uma REM, parte desta é refletida à atmosfera, parte absorvida e utilizada nos processos fisiológicos vitais e o restante é transmitida, sendo estes dependentes do comprimento de onda da energia direcionada. Para Machado et al. (1985), a reflectância engloba os efeitos de muitos fatores biofísicos, tais

como estrutura e geometria das plantas, tamanho, anatomia e idade das folhas, arranjo das plantas no campo, entre outros.

As regiões do espectro de luz fisiologicamente eficazes para a fotossíntese se localizam no espectro na faixa ultravioleta ao azul e na faixa do vermelho até próximo ao infravermelho (Larcher, 1986).

Moreira (2000), em estudo realizado sobre a resposta espectral de folhas verdes, constatou que no intervalo de comprimento de onda de 400 a 700 nm a reflectância é baixa, 10%, apresentando um aumento de resposta na região do verde (550 nm). Na faixa do infravermelho próximo (700 a 1300 nm) há um aumento nos valores de reflectância, atingindo cerca de 50%. A queda de reflectância na faixa do visível está associada à absorção pelos pigmentos foliares, principalmente pela clorofila, a qual se caracteriza como o fotorreceptor principal (65%), e os carotenos (6%) e xantofilas (29%), que são os fotorreceptores auxiliares (Larcher, 1986; Ponzoni, 2001). Na região do azul, a absorção ocorre próxima a faixa de 445 nm, associado principalmente aos pigmentos xantofila, carotenos e clorofilas alfa e beta. Na região do vermelho, 650 nm, a reflectância é inversamente proporcional à quantidade de clorofila presente no dossel vegetal e que, portanto, é sensível ao componente fotossinteticamente ativo (Tucker, 1979).

Para a região do infravermelho próximo, fora do espectro do visível, os processos relativos a reflectância, absorvância e transmitância estão diretamente relacionados a estrutura interna da folha (tamanho e formato das células e quantidade de espaços intercelulares) (Crist & Cicone, 1984), o que tem relação direta no aumento na quantidade de biomassa (Moreira, 2000).

Fatores como a celulose, encontrada nas paredes celulares, os solutos (íons e moléculas), espaços intercelulares, pigmentos dentro do cloroplasto (Ponzoni, 2001), estágio fenológico, aspectos sanitários (Moreira, 2000), idade e maturação e senescência da vegetação (Curran, 1986) influenciam na resposta espectral da planta submetida à incidência de REM.

De acordo com Schadchina & Dmitrieva (1995), o teor de clorofila da folha, assim como a produção de MS, se correlacionam positivamente com doses de N e com a produtividade, tendo em vista que 50 a 70% do N total das folhas são integrantes de enzimas que estão associadas aos cloroplastos (Argenta, 2001), bem como que o incremento de N na planta proporciona a elevação da quantidade de MS produzida e produtividade.

Equipamentos de contato com estruturas da planta podem mensurar com precisão os teores de N na planta. Argenta (2001), em estudos realizados com a cultura do milho, constatou que, ao trabalhar com clorofilômetro, foi possível gerar um indicador do nível de N

na planta, podendo-se até mesmo gerar uma modelagem matemática para auxiliar na adubação nitrogenada. No entanto, a aplicação desta ferramenta em áreas de grandes extensões demanda muito tempo para a obtenção de dados no campo, bem como para o processamento dos dados. A utilização de sensores pode maximizar a quantidade de amostras em campo, bem como o processamento dos dados, podendo-se gerar uma recomendação imediatamente após a leitura realizada (Solari, 2006).

Na utilização de sensores para avaliação espectral de uma determinada cultura, utilizam-se os índices de vegetação. Estes podem ser definidos como a combinação de dados de duas ou mais bandas espectrais selecionados com o objetivo de melhorar a relação desses dados com os parâmetros da vegetação (Moreira, 2000).

Para minimizar a variabilidade causada por fatores externos, a reflectância espectral tem sido transformada e combinada em vários índices de vegetação, sendo sensível à biomassa verde de uma comunidade de plantas e, portanto, à quantidade de clorofila por unidade de área (Ponzoni, 2001).

O índice NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), proposto por Rouse et al. (1973) é baseado na razão normalizada de duas bandas, do vermelho e do infravermelho próximo, sendo calculado pela diferença entre estes dividida pela soma dos mesmos. Este é um dos índices mais utilizados para avaliação de biomassa, uma vez que reduz o efeito da interferência do solo e restos culturais, na resposta da vegetação, bem como as influências da atmosfera e das variações sazonais do ângulo do solo. Sua fórmula de cálculo é:

$$NDVI = (P_{IV} - P_v) / (P_{IV} + P_v)$$

Onde:

P_{IV} – Reflectância no infravermelho próximo

P_v – Reflectância no vermelho

De acordo com Galvão et al. (1999), existem diversos fatores que interferem na obtenção dos índices de vegetação, podendo ser separados em dois grupos: fatores relacionados à superfície observada e fatores relacionados à obtenção de dados. Fatores relacionados à superfície observada incluem os aspectos intrínsecos à vegetação, que influenciam diretamente nas medidas espectrais dos sensores. Fatores relacionados ao processo de obtenção dos dados envolvem as características do sensor, como a largura e posicionamento das bandas e calibração do equipamento, bem como a geometria e iluminação

do solo e de visada do sensor e os efeitos atmosféricos (absorção e espelhamento) (Moreira, 2000).

Tucker (1979) avaliou o índice NDVI, na estimativa da MS acumulada acima do solo na cultura do trigo, e concluiu que fatores adversos que afetam o crescimento e o desenvolvimento da cultura são evidentes no comportamento desses índices, sendo afetado pelo conteúdo de clorofila quanto pela fitomassa foliar verde. Rudorff et al. (1989), monitorando a cultura de trigo através do NDVI, constataram que, a partir de 30 dias após semeadura, é possível identificar diferenças espectrais, correlacionando-se de forma positiva com a produtividade da cultura.

No manejo do N, doses diferentes de N, afetam o índice de vegetação NDVI, aumentando proporcionalmente conforme as doses, devido à maior reflexão no comprimento de onda no infravermelho próximo e maior absorção no vermelho (Serrano et al., 2000).

O uso do NDVI como indicador do status de N na cultura é precedido pela análise de relação com as variáveis tradicionais, usualmente utilizadas para quantificação da condição nutricional de plantas (Raun et al., 2002). Dentre estas variáveis, a associação do teor de N foliar com NDVI normalmente é menor (Casa & Castrignano, 2007). Isso ocorre devido à conversão de N em fotoassimilados, e conseqüentemente não modifica de forma significativa o N no tecido foliar. Já a biomassa acumulada na parte aérea é considerada o indicador mais fortemente correlacionado com o NDVI em cereais de inverno (Bellairs et al., 1996).

Inúmeras variáveis já foram constatadas por diferentes autores como influentes na captação de dados espectrais da planta. Meneses (2001) afirma que sensores passivos dependem de situações ótimas de variáveis meteorológicas, como temperatura, precipitação, luminosidade e radiação incidente, para que o índice de vegetação não sofra interferência. Jackson et al. (1983) encontraram diferenças entre leituras de reflectância do dossel de trigo com e sem nebulosidade, sendo que na presença de nuvens a reflectância diminuiu. Estes mesmos autores constataram que o ângulo de elevação do sol também interfere nas leituras de reflectância quando utilizado sensor passivo. Ceccato (2001) verificou que plantas que apresentam-se bem hidratadas, com suas células túrgidas, apresentam menor reflectância, devido à maior absorção da energia incidente pelas moléculas de água. Neste sentido, a uniformidade de quantidade de palha e da umidade do solo pode interferir espacialmente os índices de vegetação obtidos (Basso, 2002).

Povh (2007), quando utilizou um sensor terrestre ativo (GreenSeeker®) em estudos com trigo, observou que as leituras de NDVI apresentaram correlação e regressão, significativas, com elevados coeficientes, para as variáveis, doses de N na semeadura,

quantidade de MS acumulada e produtividade, comprovando o potencial da utilização da ferramenta para aplicação de doses de N. No entanto, o autor destaca a importância da calibração do equipamento para diferentes ambientes de cultivo, bem como para cultivares.

Quando se tem por objetivo a utilização de índices de vegetação, a fim de se determinar a dose de N a ser aplicada, a estimativa de produtividade tem sido a mais confiável. Dentre várias metodologias adaptadas, considerando-se a estimativa de produtividade, destaca-se a de Raun et al. (2002). Estes autores, realizando vários estudos com a cultura do trigo, desenvolveram um modelo capaz de levar em consideração o acúmulo do NDVI diário ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura e sua relação com a produtividade. Relacionando o INSEY (*in-season estimate of grain yield*) com a produtividade da cultura, neutralizaram variações nas leituras de NDVI ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura. O INSEY é gerado através do NDVI obtido na leitura, dividindo-se pelos dias que se passaram da semeadura até o momento da leitura. A aplicação da dose de N se dá em função da quantidade a ser aplicada de N em kg por kg de grãos produzidos e da definição da sua eficiência em %, e pode ser descrita pela seguinte equação:

INSEY = NDVI/Nº de dias após a semeadura

Dose de N (kg ha^{-1}) = $(P1-P2)*D*(1/E)$

P1=Potencial produtivo na faixa rica de N – definida pela modelagem de estimativa de produtividade.

P2= (potencial produtivo na faixa a ser realizada a leitura - estimativa de produtividade na faixa rica)/(INSEY – faixa de referência/INSEY da lavoura).

D = equivale a dose a ser aplicada de N em kg para produção de cada kg de grãos. De acordo com Sousa & Lobato (2004) e Pauletti (2004) para a produção de 1 tonelada de trigo é necessário a adição de 25 kg a 28 kg de N sendo sua eficiência de 70%.

E = eficiência do fertilizante nitrogenado em %.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Local do experimento

O trabalho foi realizado em Guarapuava, Região Centro-Sul do Estado do Paraná, no distrito de Entre Rios, campo experimental da Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA), durante a safra de inverno de 2009. A coordenada central da área experimental é 450.498,60 m E, 7.173.926,29 m N – Zona 22S, Datum Horizontal – SAD 69 (Figura 1).

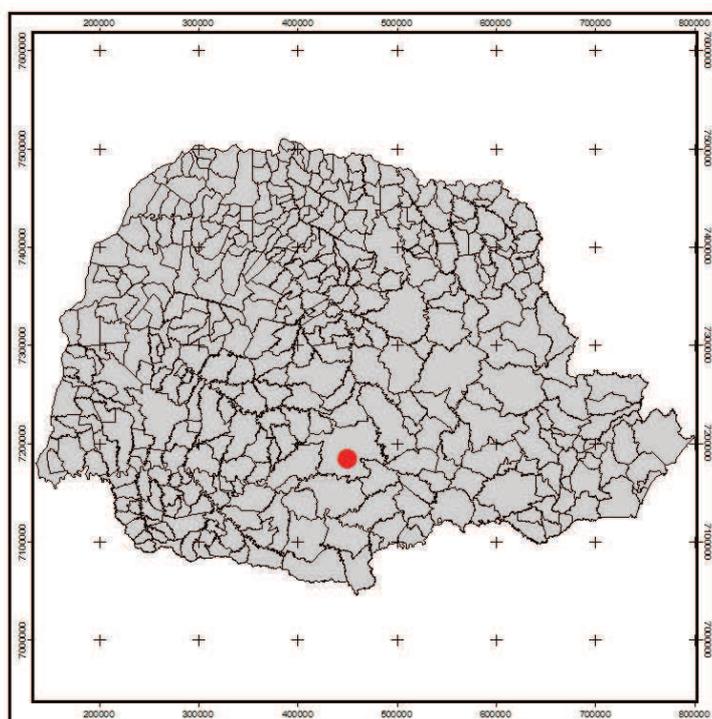


Figura 1. Localização espacial da Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA) no Estado do Paraná.

4.1.1 Caracterização Climática

O município de Guarapuava está situado no terceiro planalto paranaense, a 1.100 metros de altitude. A precipitação e a temperatura média anual são de 2002 mm e 16,8°C, respectivamente. O clima da região foi caracterizado de acordo com a classificação de Köppen (1948), como subtropical úmido, sem estações de secas e com geadas severas frequentes. As figuras 2 e 3 representam o histórico médio (1976 a 2010) e os dados referentes ao ano de 2009 quanto à precipitação e à temperatura, respectivamente.

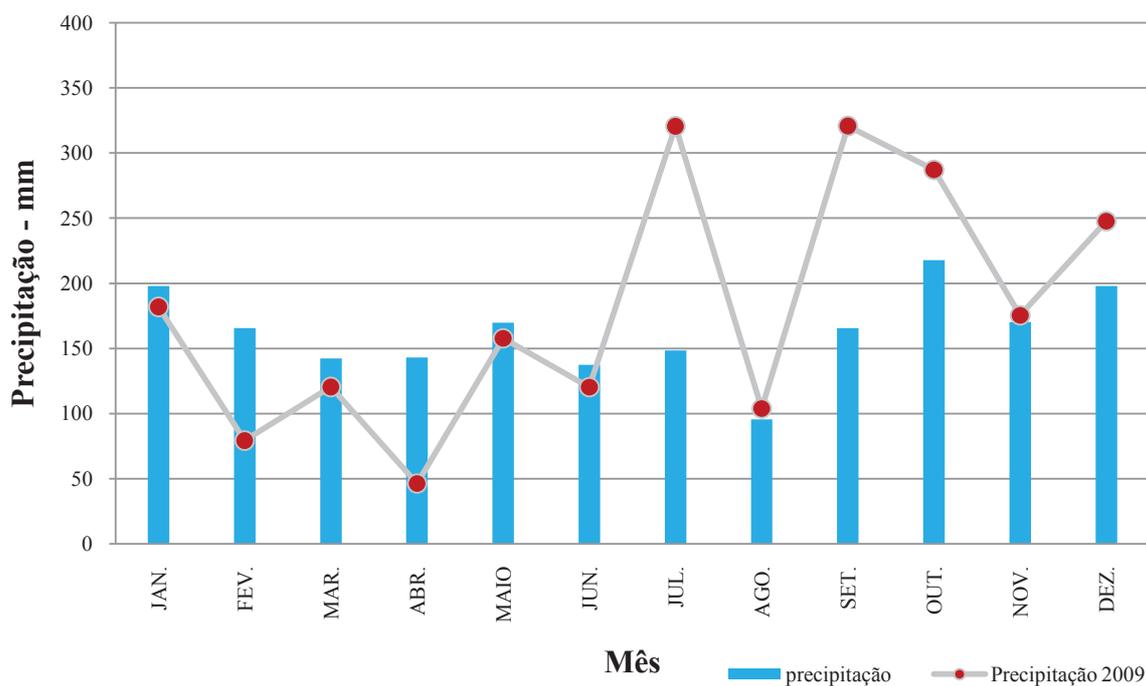


Figura 2. Índice pluviométrico médio mensal entre 1976 e 2010 (barras) e média mensal de 2009 (linha) para o distrito de Entre Rios – Guarapuava – PR (Estação Meteorológica – FAPA).

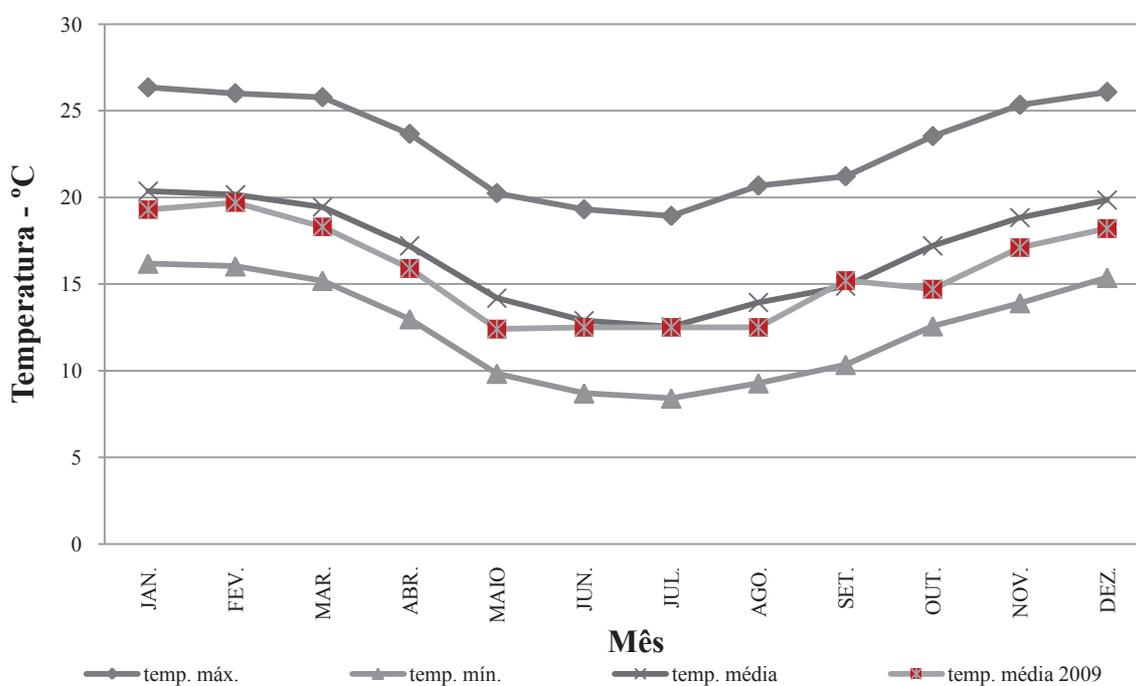


Figura 3. Temperatura média, máxima e mínima, mensal entre 1976 e 2010 e média mensal de 2009 para o distrito de Entre Rios – Guarapuava – PR (Estação Meteorológica – FAPA).

4.1.2 Caracterização do solo

O experimento foi implantado em área experimental, em local de topografia plana. O solo é considerado argiloso, sendo caracterizado como Latossolo Bruno Alumínico (Embrapa, 2006).

O sistema de rotação de cultura nos dois anos anteriores ao estudo, foi com o cultivo de aveia (2007) seguida de milho (Safrá 07/08) e cevada (2008) seguida de soja (safra 08/09), sempre no sistema de plantio direto.

Para a caracterização da fertilidade do solo, realizou-se amostragem do solo, com 30 pontos (sub-amostra), estratificada nas profundidades de 0,0-0,1 m e 0,1-0,2 m. A análise química, foi realizada pelo laboratório da Coodetec - Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola, no município de Cascavel-PR. Para a determinação de fósforo, potássio, cobre, zinco, ferro, manganês, carbono orgânico, cálcio, magnésio, alumínio, enxofre e boro, utilizou-se a metodologia descrita por Pavan et al. (1992), sendo os resultados expressos na Tabela 1.

Tabela 1. Resultado da análise química do solo para as profundidades 0,0 – 0,1 m e 0,1 – 0,2 m no local do experimento.

Elementos	Unidade	Teores – 0,0-0,1m	Teores 0,1-0,2 m
P	mg dm ⁻³	20,9	14,9
C	g dm ⁻³	43,64	34,68
pH	CaCl ₂	5,1	4,4
H+Al	cmol _c dm ⁻³	7,2	12,13
Ca	cmol _c dm ⁻³	7,03	3,79
Mg	cmol _c dm ⁻³	2,74	1,14
Ca+Mg	cmol _c dm ⁻³	9,77	4,93
Al	cmol _c dm ⁻³	0	0,46
K	cmol _c dm ⁻³	0,8	0,45
S-SO ₄	mg dm ⁻³	7,26	10,28
Cu	mg dm ⁻³	2,7	2,8
Zn	mg dm ⁻³	10,4	8,3
Fe	mg dm ⁻³	33	36
Mn	mg dm ⁻³	52	30
B	mg dm ⁻³	0,53	0,54
SB	cmol _c dm ⁻³	10,57	5,38
T	cmol _c dm ⁻³	17,77	17,51
V	%	59,48	30,73
Al	%	0	7,88
Ca	%	39,56	21,64
Mg	%	15,42	6,51
K	%	4,5	2,57

4.2 Cultivares

As cultivares de trigo utilizadas foram:

- Quartzo – cultivar desenvolvida e comercializada pela empresa OR Melhoramento de Sementes Ltda. Esta apresenta hábito vegetativo intermediário e semi-ereto, perfilhamento considerado nível médio, altura média de planta de 85 cm, com moderada resistência ao acamamento (OR SEMENTES, 2010).
- Campeiro - cultivar desenvolvida e comercializada pela empresa OR Melhoramento de Sementes Ltda. Apresenta hábito vegetativo intermediário e semi-ereto, perfilhamento considerado nível médio, altura de planta de 83 cm, com

moderada resistência ao acamamento (OR SEMENTES, 2010).

- BRS Tangara - cultivar desenvolvida pela EMBRAPA. Apresenta hábito vegetativo intermediário, perfilhamento considerado nível médio, altura de planta de 85 cm, com moderada resistência ao acamamento (EMBRAPA, 2010)
- CD 115 - cultivar desenvolvida pela Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola (Coodetec). Apresenta hábito vegetativo intermediário, perfilhamento considerado nível médio, altura de planta de 81 cm, moderadamente suscetível ao acamamento (SEMENTES ARAUCARIA, 2011).

As sementes utilizadas no trabalho foram submetidas ao teste de poder germinativo, vigor e peso de mil sementes para determinar a quantidade de semente para a população adequada (Tabela 2).

Tabela 2. Resultado da análise das sementes utilizadas quanto ao poder germinativo (%), vigor (%) e peso de mil sementes – PMS (g).

Cultivar	Poder Germinativo (%)	Vigor (%)	PMS (g)
Quartzo	91	87	36
Campeiro	91	81	29
BRS Tangara	92	90	38
CD 115	90	82	31

4.3 Implantação da cultura

A semeadura ocorreu no dia 3 de julho de 2009. Utilizou-se um trator Valmet modelo 785, adaptado para implantação de parcelas, sendo a máquina semeadora uma SHP com 6 linhas espaçadas a 17 cm (Figura 4). A semeadora foi regulada para obtenção de uma população esperada de 330 plantas m⁻², em função do vigor e poder germinativo determinados.

A adubação foi realizada no momento da semeadura com 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente, para todas as parcelas. A adubação nitrogenada variou em função do tratamento, sendo aplicada nas doses 0, 30, 60, 90 e 120 kg de N por ha no sulco da semeadura, na forma de uréia.



Figura 4. Trator adaptado para práticas experimentais, acoplado a semeadora de parcelas SHP com dosador de sementes e adubo.

4.4 Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso num esquema fatorial 4x5, com 4 cultivares de trigo e 5 doses de N, com 4 repetições. As parcelas foram compostas por 18 linhas de 5 m de comprimento cada, totalizando 80 parcelas alinhadas no sentido Norte-Sul (Figura 5).



Figura 5. Imagem aérea do experimento obtida no estágio fenológico Feeks 8 – início do emborrachamento das cultivares de trigo.

4.5 Sensores, GPS e softwares

Para a realização da leitura espectral da cultura no experimento, utilizaram-se dois

sensores, descritos a seguir.

I - Sensor Passivo: Câmera fotográfica multiespectral, marca Fuji, modelo Fuji IS-1, 8 bits, registro de 4 bandas (vermelho, infravermelho próximo, verde e azul) em 256 níveis de cinza (Figura 6b). Para a captura das imagens a máquina fotográfica foi fixada na parte inferior de uma aeronave de pequeno porte (Cessna 150) com o qual se sobrevoou as parcelas a uma altitude média de 150 a 200 m (Figura 6a).



Figura 6. Avião utilizado para o registro das imagens (figura a) e modelo da máquina fotográfica utilizada (figura b).

II - Sensor Ativo: Crop Circle ACS 210. É um sensor portátil que tem como emissor de luz um vetor de led's policromáticos modulados que emitem feixes de luz em um comprimento de onda de 650 a 850 nm o que compreende a faixa do vermelho e infravermelho próximo. Para a fotodetecção, foram utilizados dois detectores de luz, um na faixa de 400 a 680 nm e outro na faixa de 800 a 1100 nm (Figura 7).



Figura 7. Sensor ativo Crop Circle®, destacando-se o *data logger* a esquerda e os dois sensores ópticos ativo, a direita da imagem.

A área de estudo foi georreferenciada com o GPS Trimble, modelo R6 (Figura 8), sendo que cada parcela ficou caracterizada por quatro coordenadas geodésicas, Datum SAD-69. Isso foi necessário, para posteriormente, filtrar os dados gerados em campo para cada parcela a ser analisada.



Figura 8. Levantamento de coordenadas dos vértices das parcelas com GPS Trimble R6 e sua coletora de dados.

Uma vez georreferenciada a área de estudo, para a separação dos dados de reflectância do dossel da cultura (NDVI) em cada parcela, procedeu-se da seguinte forma:

1º - Georreferenciamento dos dados coletados

- Para o sensor ativo, a coleta dos dados procedeu-se juntamente com um receptor GPS Trimble R6. Isso possibilitou a associação dos dados de NDVI a sua localização espacial e conseqüentemente a identificação da parcela.

- Para o sensor passivo, inicialmente as imagens geradas das bandas do espectro eletromagnético do vermelho (V) e infravermelho (IV) foram submetidos ao agrupamento no software IDRISI no formato de NDVI, pela equação $NDVI = (P_{IV} - P_V) / (P_{IV} + P_V)$. Posteriormente a imagem resultante foi submetida ao processo de georreferenciamento com os pontos coletados com GPS Trimble R6 para cada parcela. Neste caso a imagem com a

informação de NDVI foi sobreposta as parcelas georreferenciada.

2º Extração da informação de NDVI para cada parcela.

Tendo as informações georreferenciada, tanto das parcelas (os 4 vértices) como dos dados coletados pelos sensores, utilizou-se o software ArcView 3.2 para extrair os valores de NDVI para cada parcela.

4.6 Avaliações

As avaliações realizadas compreenderam: leituras de NDVI, MS da parte aérea da cultura, teor de N na folha bandeira e produtividade.

Cada parcela foi dividida em três áreas amostrais: uma de 1,0 m x 12 linhas de semeadura, do início da parcela para seu centro, outra de 4,0 m x 12 linhas de semeadura no centro da parcela e a terceira no fim da parcela de 1,0 m x 12 linhas de semeadura. No início da parcela, realizaram-se as avaliações destrutivas de MS, no centro da parcela coletaram-se folhas bandeiras para determinação do teor foliar de N, e no fim da parcela juntamente com a área central registraram-se os dados para a determinação do NDVI (Figura 9).

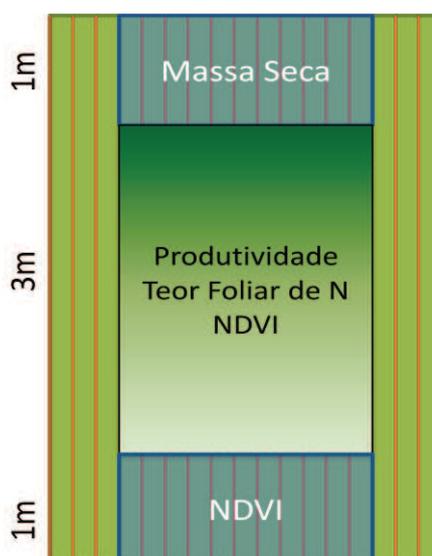


Figura 9. Representação do local das amostras dentro de cada parcela para determinação de MS, teor foliar de N, NDVI e produtividade.

4.6.1 Leitura de NDVI

As leituras de NDVI foram realizadas em três épocas durante o desenvolvimento da cultura, sendo caracterizadas pela escala fenológica de Feeks & Large (Large, 1954): Feeks 3 (afilhamento), Feeks 8 (início do emborrachamento) e Feeks 10.5.1 (início do florescimento) nos dias 15/08, 15/09 e 23/10 de 2009, respectivamente.

As leituras foram realizadas no período das 10 às 14h, sem nuvens, a fim de se eliminar o efeito do ângulo do sol, principalmente para o NDVI gerado pelo sensor passivo. Para o sensor passivo, sobrevoou-se a área de estudo numa altitude entre 150 e 200 m, atingindo-se uma resolução espacial de 6 a 10 cm para as imagens coletadas. Para o sensor ativo, a coleta dos dados ocorreu entre 0,8 e 1 m do dossel da cultura (Figura 10) coletando-se cerca de 50 pontos amostrais por parcela.

A área dentro de cada parcela, destinada a avaliações destrutivas, foram desconsideradas para as leituras de NDVI.



Figura 10. Coleta de dados de reflectância do dossel da cultura do trigo com sensor ativo (Crop Circle®).

4.6.2 Massa seca - MS

No mesmo dia em que se realizaram as leituras de NDVI coletaram-se as amostras de biomassa da parte aéreas das plantas. Coletaram-se plantas em uma linha de semeadura, por 50 cm linear na área destinada a amostragem destrutiva, dentro de cada parcela. No entanto, esta mesma linha foi definida para cada parcela, com o critério de se coletar plantas semeadas

pelo mesmo carrinho da máquina semeadora, a fim de se reduzir possíveis erros inerentes a variações de distribuição de semente, mesmo que insignificantes, na máquina de semeadura.

A parte aérea da cultura foi separada com a utilização de uma tesoura e foi embalada em saco de papel, sendo seca em estufa a temperatura de 65°C até atingir massa constante.

4.6.3 Teor foliar de N

No início do florescimento coletaram-se 50 folhas bandeira de cada parcela sendo analisadas no laboratório da Fundação ABC em Castro, a fim de se determinar o teor foliar de N, de acordo com metodologia descrita por Cantarella et al. (1997).

4.6.4 Produtividade

A colheita do experimento ocorreu no dia 18 de Novembro de 2009. Foi utilizada uma máquina de colheita de parcelas marca Wintersteiger. A área colhida foi composta de 12 linhas centrais com 3 m de comprimento, descontando-se 1 m do início e fim da parcela, bem como das demais linhas laterais, localizando-se no espaço dentro da parcela, destinado à avaliações não destrutivas. As amostras coletadas foram submetidas à análise de umidade, sendo os dados convertidos em massa (kg) a 130g kg⁻¹ de umidade.

4.7 Análises estatísticas

A análise dos dados foi feita com o uso do software SISVAR. Dados de NDVI, foram analisados, comparando-se as cultivares dentro de cada dose, bem como leituras de NDVI, comparando-se sensores dentro de cada cultivar. Os dados foram submetidos a ANOVA, seguido do teste de Tukey para comparação das médias a 5 e 1 % de probabilidade, respectivamente.

Realizou-se a análise de regressão, ajustando-se os modelos para NDVI, MS, teor foliar de N e produtividade em função da dose de N na adubação, bem como modelos para NDVI e MS, NDVI e teor foliar de N, MS e produtividade e NDVI e produtividade. O modelo de regressão utilizado foi o que apresentou maior coeficiente de determinação, submetido ao teste F a 1% de probabilidade.

Para comparação entre os sensores, utilizou-se a correlação de Pearson, submetendo os dados ao teste T de Student a 1 % de probabilidade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Influência das cultivares nas leituras de NDVI

Para as avaliações realizadas nos três diferentes estádios fenológicos, houve diferença significativa de NDVI entre as cultivares estudadas, para algumas doses de nitrogênio, tanto para o sensor passivo (Figura 11) como para o sensor ativo (Figura 12).

O comportamento do NDVI entre as cultivares variou em função das doses e estágio fenológico. Para sensor passivo, as cultivares apresentaram diferenças significativas de NDVI no estágio fenológico Feeks 3 (afilhamento), para as doses 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ de N, para Feeks 8 (início do emborrachamento), para as doses 0, 30 e 90 kg ha⁻¹ de N e para Feeks 10.5.1 (início do florescimento) somente nas doses 60 e 90 kg ha⁻¹ de N (Figura 11). Já para o sensor ativo, as diferenças encontradas de NDVI foram significativas no estágio fenológico Feeks 3, para as doses 0, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ de N, no estágio Feeks 8, para as doses 0, 30, 90 e 120 kg ha⁻¹ de N e para o estágio Feeks 10.5.1, nas doses 0, 30 e 90 kg ha⁻¹ de N (Figura 12).

Nenhuma cultivar apresentou acamamento que pudesse comprometer os resultados de NDVI obtidos, mesmo nas maiores doses de N. No entanto características, tais como, ângulo foliar, e precocidade no desenvolvimento inicial, fazem a cultivar Tangara se destacar frente as demais, respondendo em dados de NDVI maiores para o estágio fenológico Feeks 3 tanto para o sensor passivo como para o ativo, sendo este resultado menos evidente nos demais estádios fenológicos. Moreira (2005), também constatou em seus estudos, resultados semelhantes.

Hatfiel (1981), em estudo sobre a variação espectral de oitenta e dois genótipos de trigo, entre a fase de emborrachamento e ponto de colheita, observou variabilidade na resposta espectral dos genótipos. O autor concluiu que as diferenças encontradas estão associadas não apenas às variáveis agronômicas como índice de área foliar ou acúmulo de biomassa, mas também altamente dependente da geometria de incidência da radiação e sua interação com as características da arquitetura dos dosséis vegetativos.

Estudos realizados por Povh (2007), também retratam haver diferenças entre as cultivares em relação aos dados de NDVI. Este fato evidencia a necessidade de uma calibração específica para cada cultivar, sendo que as diferenças de NDVI não foram explicadas nem pela MS acumulada e nem pelo teor de N foliar.

É notável, que os resultados obtidos não se mantiveram ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura. Isso pode ser explicado, devido a influência do ambiente nas leituras realizadas para o estágio fenológico Feeks 3, o qual pode interferir diretamente nos níveis de NDVI, uma vez que a cultura, neste momento não apresenta um aporte de biomassa suficiente para cobertura total do solo ficando exposto para as leituras realizadas tanto o solo descoberto como restos culturais de culturas antecessoras (Figura13). Já para as leituras realizadas no estágio fenológico Feeks 10.5.1, os níveis de NDVI sofrem forte influência pela presença de espigas e aristas na cultura, para ambos os sensores, resultando em valores de NDVI menores, comparados a avaliação no estágio Feeks 8. Estudos realizados por Galvão et al. (1999); Grohs et al. (2009) e Flowers et al. (2003) também revelam a influência de variáveis da planta e ambiente nas leituras de NDVI.

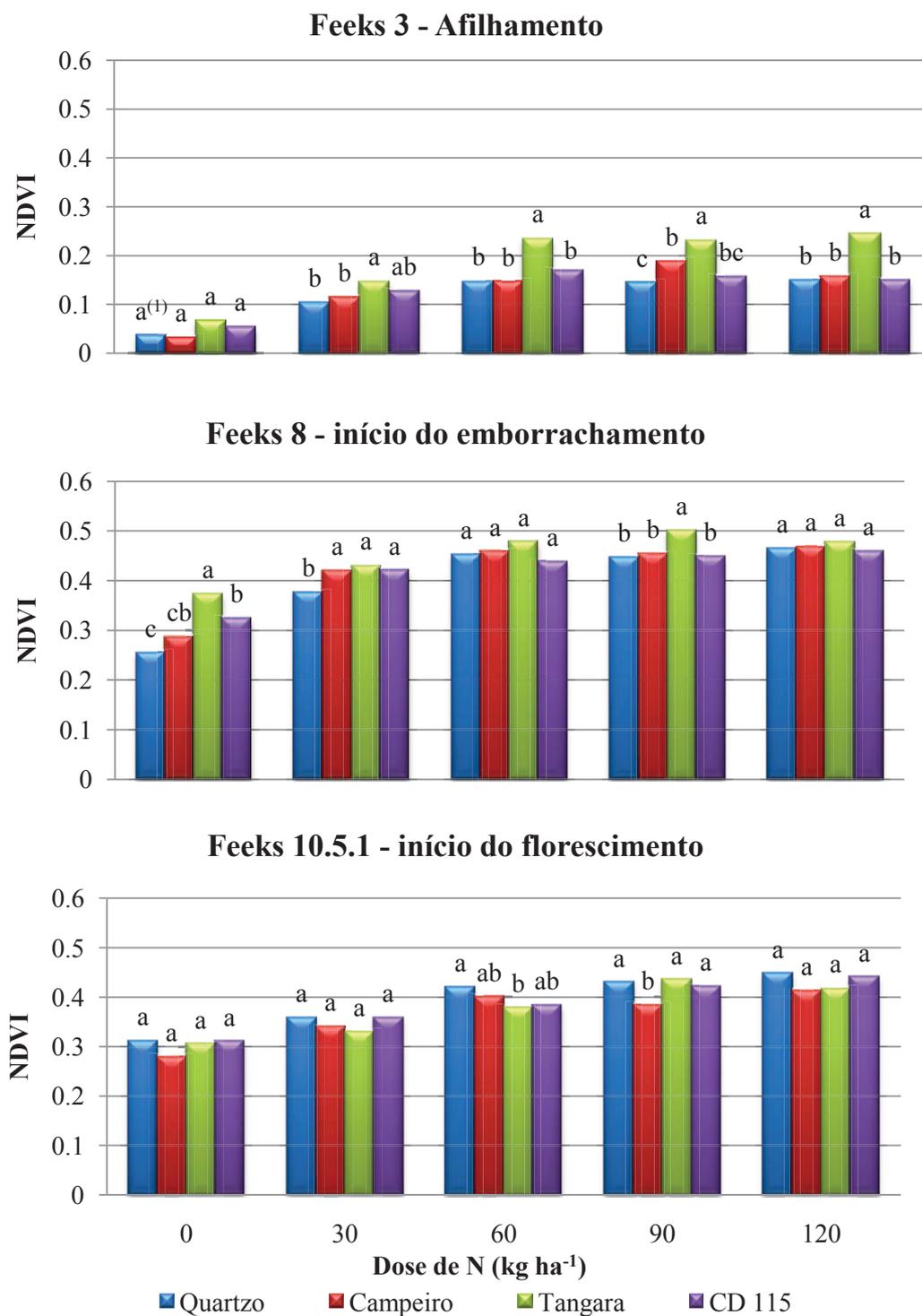


Figura 11. NDVI das cultivares de trigo em função das doses de Nitrogênio (N), segundo escala fenológica de Feeks & Large (1954) obtido pelo sensor passivo. ⁽¹⁾ Letras comparam variedades para cada dose de N, em cada estágio fenológico, pelo teste Tukey a 5% de significância.

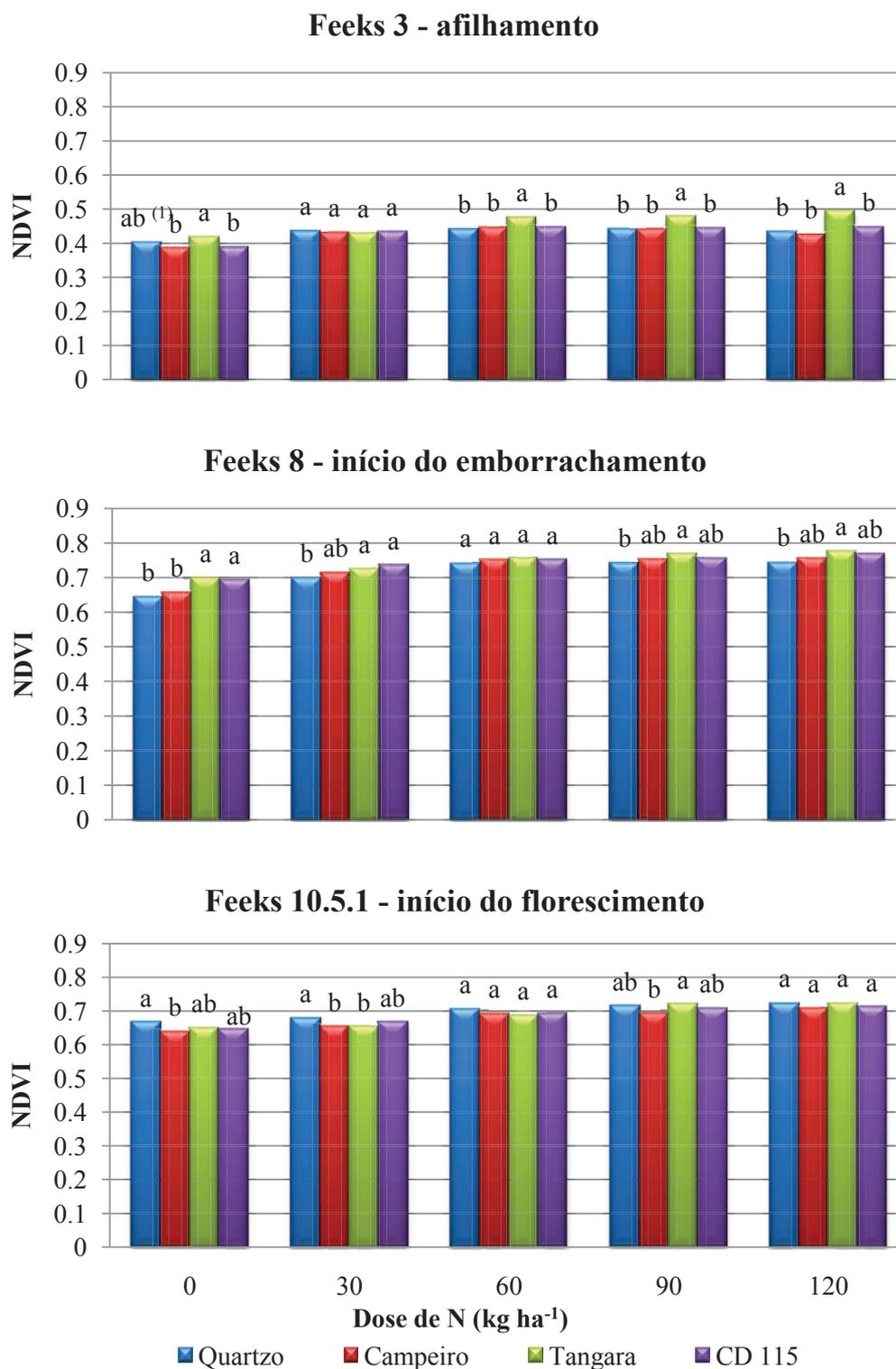


Figura 12. NDVI das cultivares de trigo em função das doses de Nitrogênio (N), segundo escala fenológica de Feeks & Large (1954) obtido pelo sensor ativo. ⁽¹⁾ Letras comparam variedades para cada dose de N, em cada estágio fenológico, pelo teste Tukey a 5% de significância.

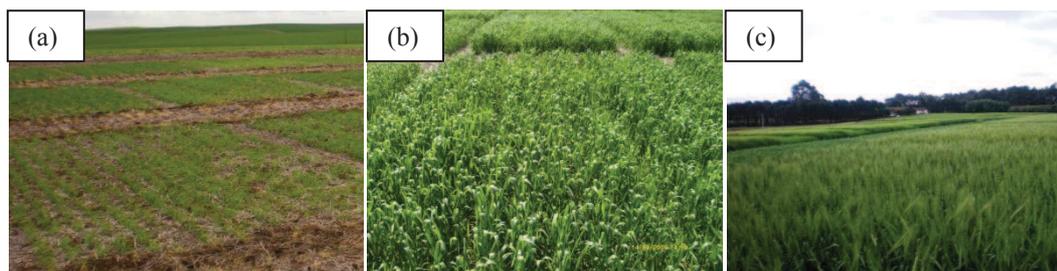


Figura 13. Estádios fenológicos de desenvolvimento da cultura do trigo, conforme escala proposta por Feeks & Large (1954): Feeks 3 – afilhamento (a), Feeks 8 – início do emborrachamento (b) e Feeks 10.5.1 – início do emborrachamento (c).

5.2 Efeitos da dose de N nas variáveis MS, teor foliar de N e produtividade

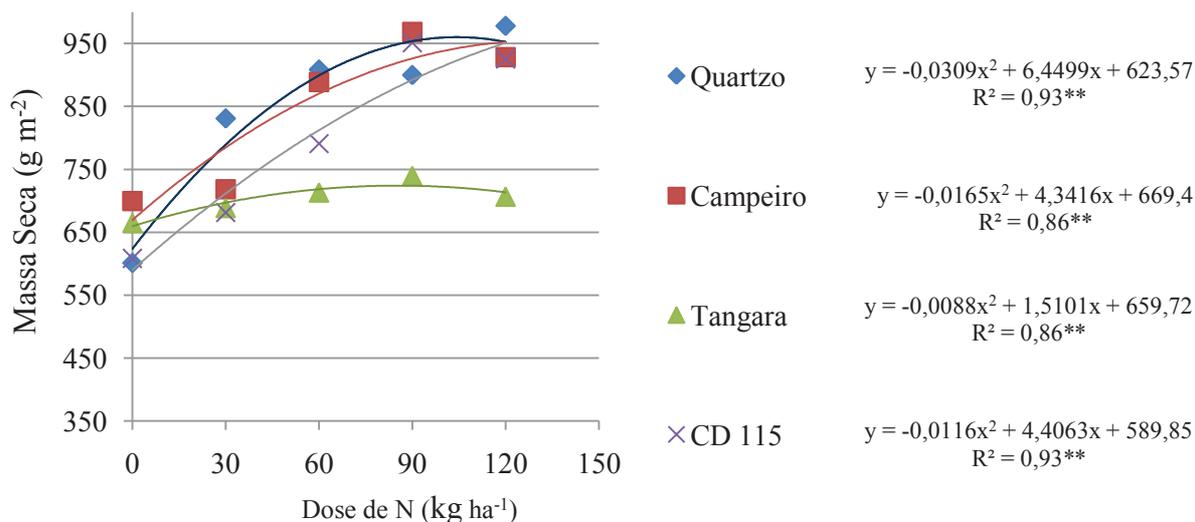
Elevados coeficientes de determinação foram encontrados, significativos a 1%, obtidos na análise de regressão ajustada ao modelo polinomial de segundo grau entre a variável independente dose de nitrogênio aplicado no momento da semeadura e variáveis dependente como MS acumulada, teor foliar de N e produtividade. Estes resultados indicam o efeito das doses de N nas variáveis analisadas.

5.2.1 Dose de N e MS acumulada

Para todas as cultivares, doses crescentes de N promoveram incremento de MS. Para as cultivares CD 115 e Campeiro, a Dose de Máxima Eficiência Técnica (DMET) foi superior a 120 kg ha^{-1} de N, para o acúmulo de MS. Para as demais cultivares obteve-se um DMET de 104,36 e $85,80 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, respectivamente para, Quartzo e Tangara (Figura 14).

De acordo com Moges et al. (2004), a biomassa acumulada na parte aérea é uma das variáveis que melhor se correlaciona com NDVI. Para tanto as regressões realizadas entre doses de N como variável independente e MS como a variável dependente apresentaram elevados coeficientes de determinação sendo este superior a 0,86 para todas as cultivares e significativo pelo teste F a 1% de probabilidade. De acordo com Liu (2006), o acúmulo de biomassa se relaciona diretamente com a produtividade final, que por sua vez também se relaciona com doses de N.

Povh (2007) encontrou coeficientes de determinação próximos aos encontrados neste trabalho: 0,88 e 0,74 quando analisou doses de N com MS em um Cambissolo e um Latossolo, respectivamente.



** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

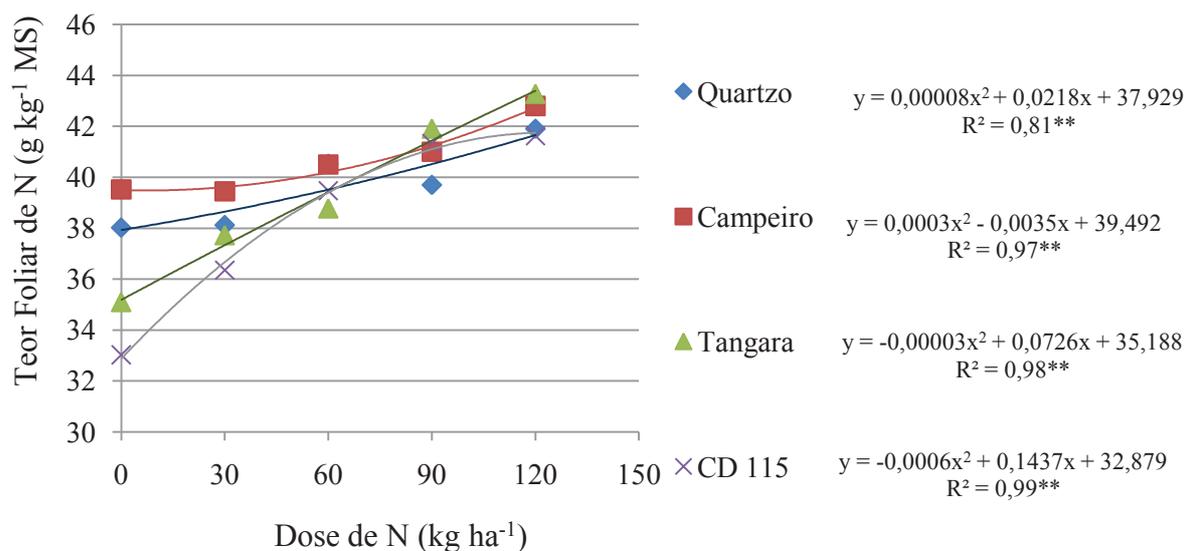
Figura 14. MS para cultivares de trigo no estágio fenológico Feeks 10.5.1 – início do florescimento em função de doses de N.

5.2.2 Dose de N e teor foliar de N

Doses crescentes de N, promoveram incremento no teor foliar de N em todas as cultivares.

De acordo com Bredemeier (1999) e Polleto (2004), o decréscimo da disponibilidade de N no solo promove a redução significativa do teor foliar de N. Para o experimento realizado, encontraram-se coeficientes de determinação significativos pelo teste F a 1% de probabilidade de 0,81, 0,97, 0,98 e 0,99 respectivamente para as cultivares Quartzo, Campeiro, Tangara e CD 115, para os modelos ajustados entre dose de N e teor foliar de N (Figura 15).

Estudos realizados por Teixeira Filho et al. (2007) e Penckowski (2006) demonstram incremento em teor foliar de N com doses crescentes de N, sendo os resultados obtidos semelhantes aos encontrados no experimento realizado, superiores aos teores considerados adequados (20 a 34 g de N por kg de MS) conforme Cantarella et al. (1997).



** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

Figura 15. Teor foliar de N de cultivares de trigo submetidas a doses de N.

5.2.3 Dose de N e Produtividade

Doses crescentes de N demonstraram promover incremento em MS e teor foliar de N, fato este que por sua vez promove o incremento também da produtividade. Isso é verificado nos modelos ajustados entre dose de N e produtividade, que apresenta coeficientes de determinação acima de 0,90 e altamente significativos, para todas as cultivares (Figura 16).

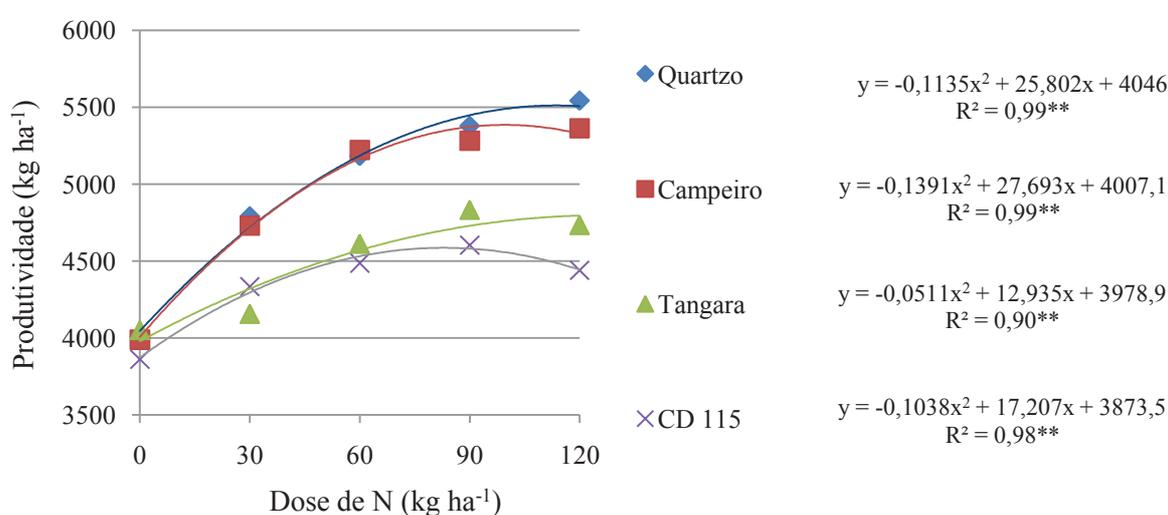
A cultivar Tangara apresentou DMET para produtividade superior a maior dose de N utilizada no experimento chegando a 126,56 kg ha⁻¹. As demais cultivares apresentaram DMET de 113,66, 99,54 e 82,88 kg ha⁻¹ de N, respectivamente para Quartzo, Campeiro e CD 115. Isso indica, que doses de N superiores a estas, provem baixo incremento em produtividade.

As DMET's obtidas, foram elevadas e superiores às recomendações para adubação nitrogenada na cultura do trigo, para o Estado do Paraná, exceto para a cultivar CD 115. De acordo com o IAPAR (2003) a dose máxima de N para obtenção de elevadas produtividades a cultivares com moderada resistência ao acamamento é de 90 kg ha⁻¹. Como o índice pluviométrico no período experimental, apresentou-se acima da média, parte da adubação nitrogenada realizada no momento da semeadura pode ter se perdido por processos de lixiviação, explicando as DMET's elevadas encontradas.

Muitos estudos revelam efeito de doses de N na produtividade de trigo, principalmente por ser uma gramínea, a qual possui baixa afinidade com microorganismos capazes de

disponibilizar o N gasoso para as plantas, como no caso das leguminosas. Bredemier & Mundstock (2001), Zagonel et al. (2002), Trindade et al. (2006) também verificaram efeito do N na produtividade da cultura do trigo. Smeal & Zhang (1994) e Piekielek & Fox (1992) constataram que o teor de clorofila na folha apresenta relação direta com doses de N e produtividade de trigo.

Os resultados obtidos demonstram que as cultivares avaliadas responderam às doses crescentes de N. Isso vem a fortalecer a idéia de que há possibilidades de, através dos sensores, quantificar doses de N pela medição indireta de variáveis como potencial produtivo e de MS, tendo em vista a dependência direta desta com as doses de N.



** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Figura 16. Produtividade de cultivares de trigo em função de doses de N.

5.3 Efeito das doses de N nas leituras de NDVI

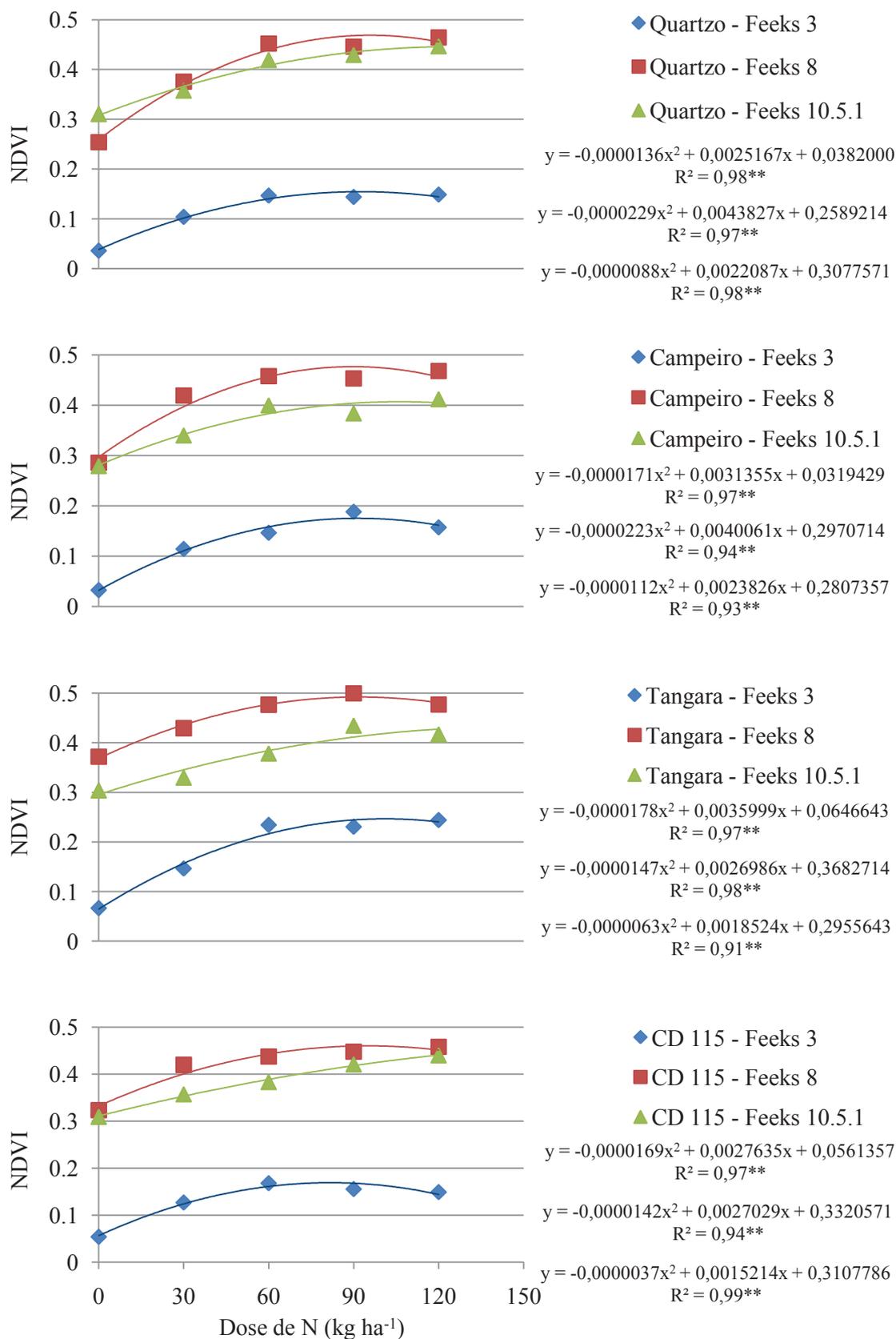
Os modelos de regressão polinomial de segundo grau apresentaram coeficientes de determinação superiores a 0,91 e altamente significativos, para ambos os sensores, para dose de N como variável independente e NDVI como variável dependente (Figura 17 e 18).

Doses crescentes de N, promoveram maiores valores de NDVI. Estes resultados confirmam dados encontrados por Serrano et al. (2000), os quais relatam que este efeito ocorre principalmente pelo aumento de reflectância no infravermelho em função de maior acúmulo de MS e maior absorbância no vermelho em função de maior quantidade de clorofila na folha.

Constatou-se o efeito direto das doses de N nas leituras de NDVI, observando-se

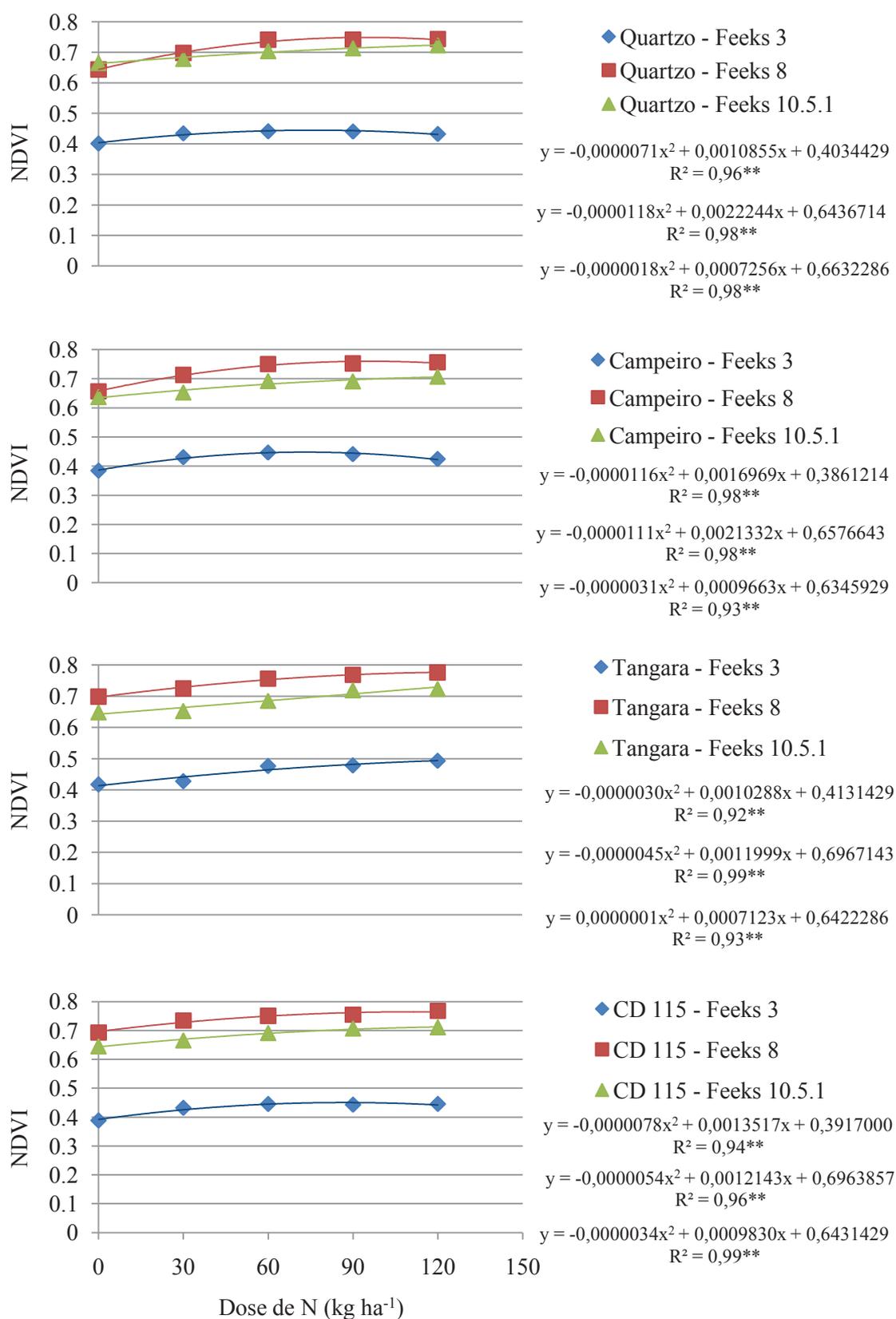
coeficientes de determinação superiores a 0,97, 0,93, 0,91 e 0,94 foram encontrados para as cultivares Quartzo, Campeiro, Tangara e CD 115, respectivamente para o sensor passivo (Figura 17), sendo estes superiores a 0,96, 0,93, 0,92 e 0,94 para o sensor ativo (Figura 18).

Analisando o estágio fenológico Feeks 8, no início do emborrachamento, o qual apresentou menor influência de características inerentes a cultura e do ambiente de produção nos valores de NDVI, nota-se que, DMET de N, para resposta espectral (NDVI) do dossel da cultura, atingiu 95,69, 87,08, 91,78 e 95,17 kg ha⁻¹ de N, para o sensor passivo e, 94,25, 96,09, 133,32 e 112,43 kg ha⁻¹, para o sensor ativo, respectivamente para as cultivares, Quartzo, Campeiro, Tangara e CD 115.



** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Figura 17. Leituras de NDVI para as cultivares de trigo através do sensor passivo no estádio fenológico Feeks 3, 8 e 10.5.1, respectivamente, em função de doses de N.



** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Figura 18. Leituras de NDVI para as cultivares de trigo através do sensor ativo no estádio fenológico Feeks 3, 8 e 10.5.1, respectivamente, em função de doses de N.

5.4 Relação entre NDVI e variáveis MS e teor foliar de N

5.4.1 Relação entre NDVI e MS

A elevação das doses de N proporcionou incremento na produção de MS. Os níveis de NDVI, indiferente do sensor utilizado devem ser maiores em situações onde há maior quantidade de MS (Serrano et al., 2000). Isso ocorre principalmente devido ao aumento de reflectância no infravermelho.

Coefficientes de determinação elevados, superiores a 0,85 foram encontrados para o sensor passivo, sendo que para o sensor ativo este coeficiente foi superior a 0,81 (Tabela 3), quando analisou-se o efeito da MS nos níveis de NDVI. Isso indica o efeito da MS, mesmo nos estádios fenológicos, onde a planta apresenta baixa quantidade de MS.

Povh (2007), realizando um estudo de leituras de NDVI com doses de 0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ de N, também encontrou coeficientes de determinação superiores a 0,83 na cultura do trigo com acúmulo de MS.

Embora, os resultados obtidos, comprovem o efeito da MS nas leituras de NDVI para todos os estádios fenológicos avaliados, no estágio Feeks 8, encontraram-se os maiores coeficientes de determinação para todas as cultivares, para os dois sensores avaliados (Tabela 3). Isso ocorre devido, a cultura neste momento apresentar um bom aporte de biomassa e cobertura do solo, e ainda sem espigas e aristas, fatores estes, que influenciam as leituras de NDVI.

Tabela 3. Efeito da Massa Seca em g m^{-2} (Variável independente) de cultivares de trigo, nos dados de NDVI (variável dependente), obtidos por sensor passivo (SP) e ativo (SA) em três estádios fenológicos da cultura, através de regressão polinomial de segundo grau.

Sensor	Cultivar	Estádio Fenológico	Equação	R ²
SP	Quartzo	Feeks 3	$y = -0,0006x^2 + 0,0354x - 0,361$	0,87**
SP	Campeiro	Feeks 3	$y = -0,0002x^2 + 0,0152x - 0,1194$	0,93**
SP	Tangara	Feeks 3	$y = -0,0002x^2 + 0,02x - 0,1613$	0,85**
SP	CD 115	Feeks 3	$y = -0,0004x^2 + 0,0274x - 0,2944$	0,97**
SP	Quartzo	Feeks 8	$y = -0,0000008x^2 + 0,0014x + 0,0585$	0,98**
SP	Campeiro	Feeks 8	$y = -0,000008x^2 + 0,0047x - 0,2802$	0,98**
SP	Tangara	Feeks 8	$y = -0,000007x^2 + 0,005x - 0,3659$	0,97**
SP	CD 115	Feeks 8	$y = -0,000003x^2 + 0,0022x + 0,0447$	0,99**
SP	Quartzo	Feeks 10.5.1	$y = 0,0000007x^2 - 0,0007x + 0,4927$	0,93**
SP	Campeiro	Feeks 10.5.1	$y = -0,000004x^2 + 0,0062x - 2,3354$	0,92**
SP	Tangara	Feeks 10.5.1	$y = -0,000006x^2 + 0,0105x - 3,9778$	0,88**
SP	CD 115	Feeks 10.5.1	$y = -0,0000006x^2 + 0,0013x - 0,2444$	0,95**
SA	Quartzo	Feeks 3	$y = -0,0003x^2 + 0,0175x + 0,2099$	0,95**
SA	Campeiro	Feeks 3	$y = -0,00006x^2 + 0,0048x + 0,339$	0,87**
SA	Tangara	Feeks 3	$y = -0,00008x^2 + 0,0067x + 0,3384$	0,81**
SA	CD 115	Feeks 3	$y = -0,0003x^2 + 0,0178x + 0,1659$	0,98**
SA	Quartzo	Feeks 8	$y = -0,0000003x^2 + 0,0006x + 0,5508$	0,96**
SA	Campeiro	Feeks 8	$y = -0,000003x^2 + 0,0019x + 0,4142$	0,93**
SA	Tangara	Feeks 8	$y = -0,000009x^2 + 0,001x + 0,5246$	0,97**
SA	CD 115	Feeks 8	$y = -0,0000003x^2 + 0,0006x + 0,6101$	0,99**
SA	Quartzo	Feeks 10.5.1	$y = 0,0000005x^2 - 0,0006x + 0,8598$	0,92**
SA	Campeiro	Feeks 10.5.1	$y = -0,000001x^2 + 0,0024x - 0,4124$	0,93**
SA	Tangara	Feeks 10.5.1	$y = -0,000004x^2 + 0,0062x - 1,8766$	0,83**
SA	CD 115	Feeks 10.5.1	$y = -0,0000004x^2 + 0,0008x + 0,2846$	0,99**

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

5.4.2 Relação entre NDVI e teor foliar de N

Na relação do NDVI com o teor foliar de N, para leituras realizadas com o sensor passivo, notou-se dois agrupamentos: um com coeficientes elevados, superiores a 0,90 e altamente significativos, para as cultivares Tangara e CD 115 para os três estádios fenológicos avaliados, e outro para coeficientes de determinação inferiores a 0,90, caracterizando as cultivares Quartzo e Campeiro (Tabela 4).

Para o sensor ativo, os resultados encontrados mostram uma situação semelhante, onde as cultivares Quartzo e Campeiro apresentam os coeficientes de determinação sempre inferiores as demais cultivares ao longo do ciclo. Isso reforça a idéia de que diferenças genotípicas de cada cultivar interferem diretamente nas leituras dos sensores, bem como na capacidade de concentrar o N na folha bandeira.

No sensor ativo, baixos coeficientes de determinação, não significativos, foram encontrados para as cultivares Quartzo e Campeiro, indicando que, no estágio fenológico Feeks 3, ainda não apresentavam relação de variáveis que interferem diretamente nas leituras de NDVI para com o teor foliar de N.

Os resultados obtidos neste trabalho foram superiores ao encontrado por Wright (2004), que em regressão de NDVI com teor foliar de N, encontrou coeficiente de determinação de 0,66. Freeman et al. (2003), em leituras de NDVI nos estádios fenológicos Feeks 9 e Feeks 10.5, chegaram a coeficientes de determinação de 0,57 e 0,48 respectivamente, em mais de 10 locais diferentes e duas safras. Moges et al. (2004), em Feeks 6, encontraram coeficientes de determinação próximos de 0,91, semelhante aos resultados obtidos para ambos os sensores no estágio Feeks 8 no presente estudo.

Resultados obtidos por Cantarella et al. (1997) revelam correlação de 0,76 entre o teor foliar de N e medidas de clorofila em leituras realizadas com equipamento SPAD. Esta relação com clorofila indica que o aumento nos teores foliares de N promove maior quantidade de clorofila e conseqüentemente menor reflectância do espectro vermelho, refletindo em valores maiores de NDVI.

Tabela 4. Efeito do teor foliar de N em g kg^{-1} Massa Seca (Variável independente) de cultivares de trigo, nos dados de NDVI (variável dependente), obtidos por sensor passivo (SP) e ativo (SA) em três estádios fenológicos da cultura, através de regressão polinomial de segundo grau.

Sensor	Cultivar	Estádio Fenológico	Equação	R ²
SP	Quartzo	Feeks 3	$y = -0,0106x^2 + 0,8685x - 17,619$	0,78**
SP	Campeiro	Feeks 3	$y = -0,0236x^2 + 1,9667x - 40,804$	0,70**
SP	Tangara	Feeks 3	$y = -0,0037x^2 + 0,3112x - 6,3056$	0,91**
SP	CD 115	Feeks 3	$y = -0,0024x^2 + 0,1902x - 3,6213$	0,98**
SP	Quartzo	Feeks 8	$y = -0,0175x^2 + 1,435x - 29,006$	0,79**
SP	Campeiro	Feeks 8	$y = -0,0204x^2 + 1,7129x - 35,454$	0,73**
SP	Tangara	Feeks 8	$y = -0,0029x^2 + 0,2388x - 4,4843$	0,94**
SP	CD 115	Feeks 8	$y = -0,0021x^2 + 0,1707x - 3,0288$	0,97**
SP	Quartzo	Feeks 10.5.1	$y = -0,0098x^2 + 0,8094x - 16,321$	0,89**
SP	Campeiro	Feeks 10.5.1	$y = -0,0152x^2 + 1,2815x - 26,568$	0,74**
SP	Tangara	Feeks 10.5.1	$y = -0,0008x^2 + 0,0798x - 1,5037$	0,90**
SP	CD 115	Feeks 10.5.1	$y = 0,0005x^2 - 0,0272x + 0,6101$	0,97**
SA	Quartzo	Feeks 3		ns
SA	Campeiro	Feeks 3		ns
SA	Tangara	Feeks 3	$y = -0,0005x^2 + 0,0471x - 0,6456$	0,83**
SA	CD 115	Feeks 3	$y = -0,0012x^2 + 0,0958x - 1,4692$	0,99**
SA	Quartzo	Feeks 8	$y = -0,0101x^2 + 0,8246x - 16,113$	0,82**
SA	Campeiro	Feeks 8	$y = -0,0142x^2 + 1,1896x - 24,142$	0,71**
SA	Tangara	Feeks 8	$y = -0,0009x^2 + 0,0763x - 0,9338$	0,95**
SA	CD 115	Feeks 8	$y = -0,0006x^2 + 0,0561x - 0,4541$	0,96**
SA	Quartzo	Feeks 10.5.1	$y = -0,0032x^2 + 0,2673x - 4,8881$	0,89**
SA	Campeiro	Feeks 10.5.1	$y = -0,0084x^2 + 0,712x - 14,323$	0,92**
SA	Tangara	Feeks 10.5.1	$y = 0,0003x^2 - 0,0156x + 0,7831$	0,92**
SA	CD 115	Feeks 10.5.1	$y = 0,0003x^2 - 0,0112x + 0,7398$	0,99**

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

^{ns} – não significativo pelo teste F

5.5 Relação entre MS e produtividade

As regressões polinomiais de segundo grau entre MS e produtividade foram altamente significativas, para toda as cultivares, e o coeficiente de determinação foi superior a 0,85 (Tabela 5). Isso comprova resultados obtidos por Grohs et al. (2009), que verificaram alta dependência da produtividade em relação ao acúmulo de MS. Estudos realizados por Povh (2007) relatam correlação superior a 0,97 entre MS e produtividade. Neste caso, a MS implica diretamente sob valores de NDVI, sendo que quanto maior a quantidade de MS maior os níveis de NDVI.

Uma vez comprovado que as doses de N apresentam influência direta na quantidade de MS, e que, por sua vez, esta tem íntima relação com a produtividade, bem como com as leituras de NDVI, é possível desenvolver um modelo para predição de doses através de técnicas de sensoriamento remoto.

Tabela 5. Resultado da análise de regressão entre acúmulo de Massa Seca em g m^{-2} (variável independente) e Produtividade (Variável dependente) em cultivares de trigo para três estádios fenológicos da cultura.

Estádio Fenológico	Cultivar	Equação	R ²
Feeks 3	Campeiro	$y = -1,5423x^2 + 126,33x + 2.708,4$	0,97**
Feeks 3	CD 115	$y = -1,8566x^2 + 133,56x + 2.145,0$	0,94**
Feeks 3	Quartzo	$y = -5,221x^2 + 332,72x + 167,2$	0,91**
Feeks 3	Tangara	$y = -0,3443x^2 + 46,134x + 3.465,3$	0,84**
Feeks 8	Campeiro	$y = -0,0387x^2 + 26,97x + 624,7$	0,92**
Feeks 8	CD 115	$y = -0,0232x^2 + 15,41x + 1.945,7$	0,94**
Feeks 8	Quartzo	$y = 0,0034x^2 + 4,7707x + 3.186,3$	0,98**
Feeks 8	Tangara	$y = -0,0073x^2 + 9,2414x + 2.351,0$	0,90**
Feeks 10.5.1	Campeiro	$y = -0,0255x^2 + 46,272x - 15.656,0$	0,87**
Feeks 10.5.1	CD 115	$y = -0,01x^2 + 17,356x - 2.938,7$	0,89**
Feeks 10.5.1	Quartzo	$y = 0,0026x^2 + 0,1349x + 2.989,5$	0,96**
Feeks 10.5.1	Tangara	$y = -0,036x^2 + 62,18x - 21.431,0$	0,86**

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

5.6 NDVI para estimativa de produtividade

Em ambos os sensores, em todos os estádios fenológicos avaliados para cada cultivar, obteve-se coeficientes de determinação superiores a 0,90 e significativos pelo teste F a 1% de probabilidade para NDVI como variável independente e produtividade como variável dependente (Tabela 6). Valores como estes, confirmam a possibilidade de se estimar o potencial produtivo ainda em estádios fenológicos onde a cultura está definindo o número de afilhos (Feeks 3). Resultados semelhantes, foram encontrados em estudos realizados através de técnicas de sensoriamento remoto, a fim de se estimar o potencial produtivo, como o de Raun et al. (2002), que geraram um algoritmo de estimativa de produtividade, analisando diversos genótipos de trigo. Povh (2007) constatou que é possível gerar um modelo de estimativa de potencial produtivo no trigo através da relação de leituras de NDVI e produtividade com elevado nível de confiança, sendo também constatado por Inman et al. (2005) e Freeman et al. (2003).

De acordo com Liu (2006), o NDVI pode ser utilizado como indicador de potencial produtivo, quando obtido no momento de maior acúmulo de biomassa.

No entanto, vale ressaltar que, quando a estimativa de produtividade ocorre em estádios fenológicos onde a cultura ainda encontra-se em desenvolvimento inicial, este resultado pode ser comprometido por efeito de fatores biótico e abióticos sobre as plantas, como doenças, pragas, condições meteorológicas. O modelo de estimativa de potencial produtivo é viável se o NDVI apresentar alta relação com a variável indicadora do status nitrogenado (MS) no dossel da cultura, e que, por sua vez, não sofra interferência de outros fatores.

Tabela 6. Resultado da análise de regressão entre NDVI (variável independente), obtido por sensor passivo (SP) e sensor ativo (SA), e Produtividade (Variável dependente) em cultivares de trigo para três estádios fenológicos da cultura.

Sensor	Cultivar	Estádio Fenológico	Equação	R ²
SP	Quartzo	Feeks 3	$y = 21.273x^2 + 8.447,4x + 3.679,3$	0,96**
SP	Campeiro	Feeks 3	$y = -30.126x^2 + 15.705x + 3.490,0$	0,95**
SP	Tangara	Feeks 3	$y = 24.847x^2 - 3.555,7x + 4.172,4$	0,92**
SP	CD 115	Feeks 3	$y = -22.531x^2 + 10.950x + 3.337,4$	0,95**
SP	Quartzo	Feeks 8	$y = 6.473,2x^2 + 2.209,4x + 3.033,7$	0,97**
SP	Campeiro	Feeks 8	$y = 41.112x^2 - 23.230x + 7.268,8$	0,99**
SP	Tangara	Feeks 8	$y = 49.613x^2 - 36.543x + 10.766,0$	0,95**
SP	CD 115	Feeks 8	$y = -15.197x^2 + 16.814x + 11,6$	0,92**
SP	Quartzo	Feeks 10.5.1	$y = -39.500x^2 + 40.416x - 4.695,3$	0,98**
SP	Campeiro	Feeks 10.5.1	$y = -37.337x^2 + 36.181x - 3.208,5$	0,98**
SP	Tangara	Feeks 10.5.1	$y = -18.113x^2 + 19.636x - 279,4$	0,98**
SP	CD 115	Feeks 10.5.1	$y = -69.212x^2 + 56.707x - 7.069,1$	0,97**
SA	Quartzo	Feeks 3	$y = -875.536x^2 + 768.065x - 163.210,0$	0,91**
SA	Campeiro	Feeks 3	$y = -323.115x^2 + 287.697x - 58.839,0$	0,90**
SA	Tangara	Feeks 3	$y = -103.936x^2 + 104.440x - 21.466,0$	0,94**
SA	CD 115	Feeks 3	$y = -6.565,2x^2 + 16.845x - 1.689,7$	0,93**
SA	Quartzo	Feeks 8	$y = -5.145,4x^2 + 20.904x - 7.308,4$	0,96**
SA	Campeiro	Feeks 8	$y = 13.640x^2 - 5.753,5x + 1.891,8$	0,99**
SA	Tangara	Feeks 8	$y = 45.698x^2 - 56.925x + 21.491,0$	0,94**
SA	CD 115	Feeks 8	$y = -139.469x^2 + 212.324x - 76.308,0$	0,94**
SA	Quartzo	Feeks 10.5.1	$y = -358.337x^2 + 521.271x - 184.088,0$	0,96**
SA	Campeiro	Feeks 10.5.1	$y = -342.608x^2 + 478.251x - 161.574,0$	0,97**
SA	Tangara	Feeks 10.5.1	$y = -151.352x^2 + 217.086x - 73.058,0$	0,99**
SA	CD 115	Feeks 10.5.1	$y = -258.477x^2 + 359.868x - 120.710,0$	0,95**

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

Tendo em vista, que existem variações de NDVI ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura, e que, neste caso seria necessário um modelo de estimativa de produtividade para cada estágio fenológico, realizou-se a modelagem para estimativa de produtividade de acordo com Raun et al. (2002). Seu modelo dá-se através de regressão entre

INSEY e produtividade (Tabela 7), sendo ajustado pela regressão polinomial de segundo grau. Este apresentou coeficientes de determinação superiores a 0,93 para todas as cultivares, significativos pelo teste F a 1 % de probabilidade. Neste caso utilizou-se o estágio fenológico Feeks 8, o qual apresenta menor influência de fatores externos nas leituras de NDVI. Este método tem por principal vantagem, neutralizar o efeito da época da amostragem, uma vez que considera o NDVI médio diário para a modelagem.

Tabela 7. Resultado da análise de regressão entre INSEY (variável independente), obtido por sensor passivo (SP) e sensor ativo (SA), e Produtividade (Variável dependente) em cultivares de trigo para três estádios fenológicos da cultura.

Sensor	Cultivar	Equação	R ²
SP	Quartzo	$y = 35.439.678,57x^2 + 163.225,32x + 3.036,01$	R ² = 0,97**
SP	Campeiro	$y = 224.818.402,67x^2 - 1.714.922,16x + 7.257,51$	R ² = 0,99**
SP	Tangara	$y = 270.825.884,92x^2 - 2.695.174,27x + 10.742,39$	R ² = 0,96**
SP	CD 115	$y = -85.383.677,70x^2 + 1.265.556,03x - 38,33$	R ² = 0,93**
SA	Quartzo	$y = -13.159.147,10x^2 + 1.263.896,07x - 5.979,29$	R ² = 0,96**
SA	Campeiro	$y = 73.850.764,77x^2 - 406.921,83x + 1.789,91$	R ² = 0,99**
SA	Tangara	$y = 250.664.843,01x^2 - 4.218.083,62x + 21.504,81$	R ² = 0,94**
SA	CD 115	$y = -766.541.373,34x^2 + 15.767.582,99x - 76.583,22$	R ² = 0,94**

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

Através destes dados gerou-se um modelo de estimativa de produtividade para a região de Guarapuava – PR, com base na reflectância do dossel, para as cultivares analisadas e subsídios de informações para aplicação de doses de N a taxa variável, podendo, inclusive, se aprimorar para técnicas de leitura e aplicação do fertilizante, em tempo real.

5.7 Comparativo entre os sensores

Ambos os sensores apresentaram resultados satisfatórios quando relacionados com as variáveis analisadas. No entanto, a Tabela 8, revela valores de NDVI inferiores para o sensor passivo quando comparado ao sensor ativo, em todos os estádios fenológicos avaliados para cada cultivar. Este comportamento também expressa as respostas em NDVI analisadas para cada dose de N.

Estes valores podem indicar que, possivelmente, em situações de culturas com aporte

de biomassa elevado, o sensor ativo venha a se saturar com as leituras de NDVI. Povh (2007) constatou que, na utilização do sensor ativo GreenSeeker® na cultura do milho, devido ao grande aporte de biomassa, houve saturação nas leituras realizadas de NDVI, não sendo possível relacioná-las com doses de N.

Myneni et al. (1997) revelaram um gráfico de saturação de NDVI de acordo com o índice de área foliar (IAF) de algumas culturas. Isso acontece porque o NDVI não apresenta uma relação linear com características biofísicas como biomassa e IAF, tornando-se insensível quando a reflectância no comprimento de onda do infravermelho é muito maior do que no vermelho (Gitelson, 2004). De acordo com Shanahan et al. (2001), a solução deste problema está em substituir a banda do vermelho por reflectância no comprimento de onda do verde, onde em estudos realizados concluiu-se haver melhores relações com a produtividade na cultura do milho.

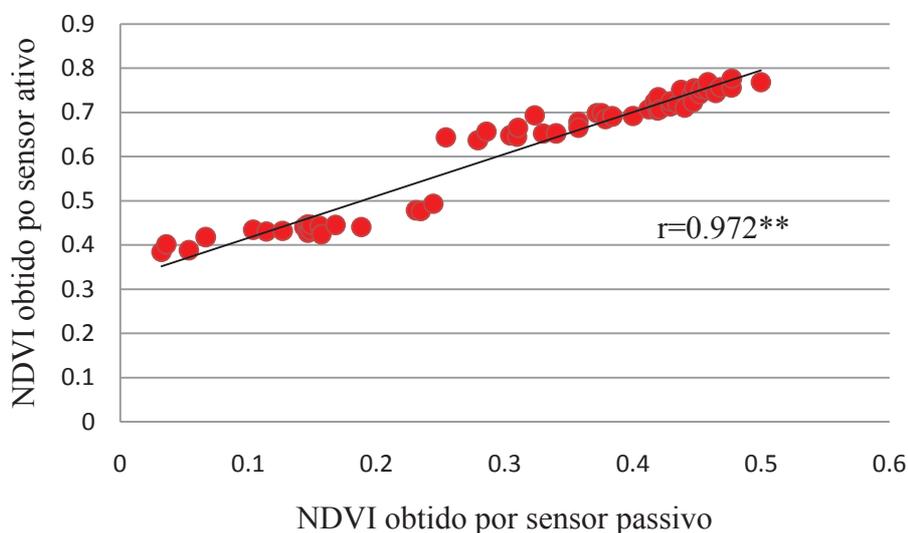
De acordo com Lillesand & Kiefer (1994), a principal fonte de energia para o sensor passivo é a radiação solar que incide sobre o planeta, sendo captada pelos sensores depois de haver interagido com a superfície. Esta é uma das desvantagens da utilização do sensor passivo, o qual, para obtenção de dados confiáveis, é necessárias condições ambientais favoráveis.

Para o experimento realizado, apesar das diferenças de NDVI encontradas, ambos os sensores se comportaram de maneira semelhante, apresentando o coeficiente de correlação de Pearson superior a 0,97 e significativo a 1% de probabilidade pelo teste T de Student, o que indica forte relação entre as leituras realizadas de NDVI pelos dois sistemas (Figura 19). Isso comprova a eficiência do sensor passivo quando comparado ao sensor ativo. No entanto, para obtenção das leituras de NDVI com este sensor passivo, os custos são consideravelmente superiores ao sensor ativo, tendo em vista que requer a utilização de uma aeronave para a captura dos dados.

Tabela 8. Dados médios de NDVI para as cultivares de trigo, obtidos através de sensor passivo (SP) e ativo (SA) para três estádios fenológicos da cultura.

Cultivar	Estádio Fenológico	NDVI SP		NDVI SA	
Quartzo	Feeks 3	0,12	a ⁽¹⁾	0,43	b
Quartzo	Feeks 8	0,40	a	0,71	b
Quartzo	Feeks 10.5.1	0,39	a	0,70	b
Campeiro	Feeks 3	0,13	a	0,43	b
Campeiro	Feeks 8	0,42	a	0,73	b
Campeiro	Feeks 10.5.1	0,36	a	0,68	b
Tangara	Feeks 3	0,18	a	0,46	b
Tangara	Feeks 8	0,45	a	0,74	b
Tangara	Feeks 10.5.1	0,37	a	0,69	b
CD 115	Feeks 3	0,13	a	0,43	b
CD 115	Feeks 8	0,42	a	0,74	b
CD 115	Feeks 10.5.1	0,38	a	0,68	b

⁽¹⁾Letras comparam as leituras de NDVI dos sensores em cada estágio fenológico das cultivares de trigo pelo teste Tukey a 1% de significância.



** significativo a 1% de probabilidade pelo teste T de Student.

Figura 19. Correlação de Pearson entre leituras de NDVI do sensor passivo e sensor ativo.

6 CONCLUSÕES

Há diferenças entre as cultivares, referentes a leituras de NDVI, tanto para o sensor passivo como para o sensor ativo;

Houve associação significativa de valores de NDVI para com as variáveis MS, teor foliar de N e doses de N, para todas as cultivares de trigo. Consequentemente, o NDVI obtido por ambos os sensores, apresentou relação direta com a produtividade para os três estádios fenológicos avaliados, possibilitando a elaboração de um modelo de estimativa de produtividade desde o início de desenvolvimento da cultura.

Houve diferença significativa entre os sensores passivo e ativo para as leituras de NDVI em todas as cultivares e estádios fenológicos avaliados. No entanto, o sensor passivo demonstrou-se eficiente na obtenção de dados de NDVI quando comparado ao sensor ativo, obtendo-se valores de correlação entre eles superiores a 0,97.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARGENTA, G. **Monitoramento do nível de nitrogênio na planta como indicador da adubação nitrogenada em milho**. 2001. 112 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

BADARUDDIN, M.; MEYER, D. W. Grain legumes effects on soil nitrogen, grain yield, and nitrogen nutrition of wheat. **Crop Science**. Madison, v. 34, p. 1304-1309, 1994.

BASSO, B. Relationship between growth traits and spectral vegetation indices in durum wheat. **Crop Science**. Madison, v. 42, p. 1547-1555, 2002.

BELLAIRS, M. et al. Plant and soil influences on estimating biomass of wheat in plant breeding plots using Field spectral radiometers. **Australian Journal of Agricultural Research**. Melbourne, v. 47, p. 1017-1034, 1996.

BREDEMEIER, C. **Predição da necessidade de nitrogênio em cobertura em trigo e aveia**. 1999. 101 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Estádios fenológicos do trigo para a adubação nitrogenada em cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 317-323, 2001.

BÜLL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: YAMADA, T. **Cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFOS, 1993.

CALEGARI, A.; HERNANI, L. C.; PITOL, C.; PRIMAVESI, O.; RESK, D. V. S. Manejo do material orgânico. In: SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. **Sistema plantio direto**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília: Embrapa - SPI, Dourados: Embrapa - CPAQ, 1998. p.52-57.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. Van; CAMARGO, C. E. O. Cereais. In: RAIJ, B. Van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de calagem e adubação para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997, 285 p. (Boletim técnico, 100).

CARVALHO, M. A. C.; FURLANI JÚNIOR, E.; ARF, O.; SÁ, M. E.; PAULINO, H. B.; BUZETTI, S. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio e teores foliares deste nutriente e de clorofila em feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 445-450, 2003.

CASA, R.; CASTRIGNANÓ, A. Analysis of spatial relationships between soil and crop variables in a durum wheat field using a multivariate geostatistical approach. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 28, p. 331-342, 2007.

CECCATO, P. Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 77, p. 22-33, 2001.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira**. 2010. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 13 abr. 2011.

COLLE, C. A. **A cadeia produtiva do trigo no Brasil: contribuição para geração de emprego e renda**. 1998. 89f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural). Centro de Estudos e Pesquisas Econômicas – IEPE, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

CRIST E. P., CICONE C.C. A Physically-Based transformation of Thematic Mapper data - The TM Tasseled Cap. **IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing**, v. 22, p. 253-263, 1984.

CROSTA, A. P. **Processamento digital de imagens e sensoriamento remoto**. Campinas, 1993, 170p.

CURRAN, P. J. **Principles of Remote Sensing**. New York, Logman, 1986, 108p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA, 2006. 306p.

EMBRAPA. **Trigo**. 2010. Disponível em:

<http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/trigo/informacoes_tecnicas_trigo_triticales_safra_2010.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2010.

EMBRAPA. **BRS Tangará**. 2010. Disponível em:

<<http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/trigo/cultivares/BRS%20Tangara.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2010.

ERNANI, P. R. **Disponibilidade de nitrogênio e adubação nitrogenada para macieira**. Lages: Graphel, 2003. 76p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Faostat**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 05 abr. 2010.

FLOWERS, M.R.; WEISZ, R.; HEINIGER, B.; TARLETON, A.M. Field validation of a remote sensing technique for early nitrogen application decisions in wheat. **Agronomy Journal**, Madison, v. 95, p. 167-176, 2003.

FONTOURA, S. M. V. **Adubação Nitrogenada na Cultura do Milho em Entre Rios**, Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2005. 94 p.

FRANK, A. B.; BAUER, A. Temperature, nitrogen and carbon dioxide effects on spring wheat development and spikelet numbers. **Crop Science**, Madison, v. 36, p. 659-665, 1996.

FREEMAN, K.W.; RAUN, W.R.; JOHNSON, G.V.; MULLEN, R.W.; STONE, M.L.; SOLIE, J.B. Late-season prediction of wheat grain yield and grain protein. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. New York, v. 34, p. 1837-1852, 2003.

GALVÃO, L.S.; VITORELLO, I.; FILHO, R.A. Effects of band positioning and bandwidth on NDVI measurements of tropical savannas. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 67, p. 181-193, 1999.

GASTAL, F.; LEMAIRE, G. N uptake and distribution in crops: an Agronomical and Ecophysiological Perspective. **Jornal of Experimental Botany**. New York, v. 53, p. 789 - 799, 2002.

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

GROHS, D.S.; BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C.M.; POLETTO, N. Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor GreenSeeker. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, p. 101-112, 2009.

HARMELL, R.D.; KENIMER, A.L.; SEARCY, S.W.; TORBERT, H.A. Runpff water quality impacto f variable rate sidedress nitrogen application. **Precision Agriculture**. New York, v. 5, p. 247-261, 2004.

HARPER, J. E. Nitrogen metabolism. In: BOOTE, K. J. et. al. **Physiology and determination of crop yield**. Madison, p. 285-302, 1994.

HATFIELD, J.L. Spectral behavior of wheat yield variety trials. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, London, v. 47, p. 1487-1491, 1981.

IAPAR. **Sugestão de adubação e calagem para culturas de interesse econômico do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2003, p. 27-29.

INMAN, D.; KHOSLA, R.; WESTFALL, D.G. Nitrogen uptake across site specific management zones in irrigated maize production systems. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, p. 169-176, 2005.

INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE - IPNI. **Informações recentes para otimização da produção agrícola**. Piracicaba: POTAFÓS, 2007. p. 1-4 Disponível em <[http://www.ipni.org.br/ppiweb/gbrazil.nsf/\\$webindex/article](http://www.ipni.org.br/ppiweb/gbrazil.nsf/$webindex/article)>. Acesso em: 10 jul. 2010.

JACKSON, R.D.; SLATER, P.N.; PINTER JUNIOR, P.J. Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmospheres. **Remote Sensing of the Environment**, New York, v. 15, p. 187-208, 1983.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Paulo: Editora E.P.U, 1986, 529p.

LARGE, E.C. Growth stages in cereals illustration of the Feeks scales. **Plant Pathology**, v.4, p. 22-24, 1954.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. **Remote sensing and image interpretation**. 3ed. New York: Wiley, 1994. 750p.

LIU, W.T.H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2006.908 p.

KÖPPEN, W. **Climatologia: com um estudio de los climas de La tierra**. México: Fondo de Cultura Econômica, 1948. 478p.

MACHADO, E. C.; PEREIRA, A. R.; CAMARGO, M. B. P.; GAHL, J. I. Relações radiométricas de uma cultura de cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 44, p. 229-238, 1985.

MALAVOLTA, E. Absorção e transporte de íons e nutrição mineral. In: FERRI, M.G. (Ed.) **Fisiologia vegetal 1**. São Paulo: USP, 1979.

MENESE, P. R. Fundamentos da radiometria óptica espectral. In: MENESES, P. R.; NETTO, J. S. M. (Eds) **Sensoriamento Remoto: reflectância de alvos espectrais**. Brasília: EMBRAPA Cerrados, 2001. p.15-40.

MOGES, S. M.; RAUN, W. R.; MULLEN, R. W.; FREEMAN, K. W.; JOHNSON, G. V.; SOLIE, J. B. Evaluation of green, red, and near infrared bands for predicting winter wheat biomass, nitrogen uptake, and final grain yield. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 27, p. 1.431-1.441, 2004.

MOLIN, J. P. **Agricultura de Precisão: o gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba: O Autor, 2001. 83 p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3.ed. Viçosa: Editora UFV, 2005. 320 p.

MOREIRA, R. C. **Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação**. 2000. 79f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2000.

MUNDSTOCK, C. M. **Planejamento e manejo integrado da lavoura de trigo**. Porto Alegre: Editora do Autor, 1999. 228p.

MYNENI, R. B.; NEMANI, R. R.; RUNNING, S. W. Estimation of global leaf area index and absorbed par using radiative transfer models. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, Piscataway, v. 35, p. 1380-1393, 1997.

OR SEMENTES. **Quartzo**. 2010. Disponível em:

<http://www.orsementes.com.br/index.php?id_menu=ver_cultivar&id_cultivar=29&title=QUARTZO>. Acesso em: 15 maio 2010.

OR SEMENTES. **Campeiro**. 2010. Disponível em:

<http://www.orsementes.com.br/index.php?id_menu=ver_cultivar&id_cultivar=39&title=CAMPEIRO>. Acesso em: 15 maio 2010.

PAULETTI, V. **Nutrientes: teores e interpretações**. 2.ed. Castro: Fundação ABC, 2004. 86 p.

PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. **Manual de análise química de solo e controle de qualidade**. Londrina: IAPAR, 1992. 39p.

PENCKOWSKI, L. H. 2006. 84p. **Efeitos de regulador de crescimento e de doses de nitrogênio na qualidade industrial e em características agronômicas da cultura de trigo**. 2006. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2006.

PIEKIELEK, W. P.; FOX, R. H. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, p. 59-65, 1992.

POLETTO, N. **Disponibilidade de nitrogênio no solo e sua relação com o manejo da adubação nitrogenada**. 2004. 119 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Faculdade de Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

PONZONI, F. J. Comportamento Espectral da Vegetação. In. **Sensoriamento Remoto - Reflectância dos alvos naturais**. Brasília: Editora UnB, 2001, p. 157-199.

POVH, F. P. **Utilização de sensor ótico ativo em culturas de cereais**. 2007. 86 f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do Solo e Adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. 343p.

RAUN, W.R.; SOLIE, J.B.; JOHNSON, G.V.; STONE, M.L.; MULLEN, R.W.; FREEMAN, K.W.; THOMASON, W.E.; LUKINA, E.V. Improving nitrogen use efficiency in cereal grain production with optical sensing and variable rate application. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, p. 815-820, 2002.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: ERTS-1 Symposium, 3, 10-14 December, Washington, DC. **Proceedings**. Washington, NASA SP-351, p. 309-317, 1973.

RUDORFF, B. T. F., BATISTA, G. T., GODOY JUNIOR, M., STEFFEN, C. A., SÁ, L. R., OVIDEO, A. E. P., FREITAS, E. S., BERTOLUCCI, C. L. B., ZIMBARCK, C. R., PISILATE JUNIOR, E., AZENHA, A.C., PISILATE, S. **Relatório da campanha de medidas radiométricas do trigo na região de Assis - safra 1988**. São José dos Campos: INPE,1989, 598 p.

SÁ, J. C. M. **Manejo da fertilidade do solo no plantio direto**. Castro: Fundação ABC, 1996, 96 p.

SCHADCHINA, T. M., DMITRIEVA, V. V. Leaf chlorophyll content as a possible diagnostic mean for the evaluation of plant nitrogen uptake from the soil. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 18, p. 1427-1437, 1995.

SCHUCH, L. O. B. et al. Vigor de sementes de populações de aveia preta: II. Desempenho e utilização de nitrogênio. **Scientia Agricola Journal**, Piracicaba, v. 57, p. 121-127, 2000.

SERRANO, L.; FILELLA, I.; PENUELAS, J. Remote sensing of biomass and yield of inter wheat under different nitrogen supplies. **Crop Science**, Madison, v. 40, p. 723-731, 2000.

SHANAHAN, J. F.; SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D. D.; VARVEL, G. E.; WILLHELM, W. W.; TRINGE, J. M.; SCHLEMMER, M. R.; MAJOR, D. J. Use of remote-sensing imagery to estimate corn grain yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 93, p. 583-589, 2001.

SECRETARIA DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO DO PARANÁ – SEAB. **Agropecuária - Estatísticas**. Disponível em: <<http://www.seab.pr.gov.br>>. Acesso em: 5 abr. 2010.

SEMENTES ARAUCARIA. **Trigo CD 115**. 2010. Disponível em: <<http://www.sementesaraucaria.com.br/cd115.php>>. Acesso em: 15 maio 2010.

SILVA, D. B. ; GUERRA, A. F.; REIN, T. A.; ANJOS, J. R. ; ALVES, R. T.; RODRIGUES, G. C.; SILVA, I. A. C. **Trigo para o abastecimento familiar, do plantio à mesa**. Brasília: Embrapa - SPI; Planaltina: Embrapa - CPAC, 1996. 176p.

SMEAL, D., ZHANG, H. Chlorophyll meter evaluation for nitrogen management in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.25, p. 1495-1503, 1994.

SOLARI, F. **Developing a crop based strategy for on-the-go nitrogen management in irrigated cornfields**. 2006. 157 p. Thesis (PhD) - University of Nebraska, Lincoln, 2006.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; ALVAREZ, R. C. F.; FREITAS, J. G.; ARF, O.; SÁ, M. E. Resposta de cultivares de trigo irrigado por aspersão ao nitrogênio em cobertura na região do Cerrado. **Acta Scientiarum-Agronomy**, Maringá, v. 29, p. 421-425, 2007.

TRINDADE, M. G.; STONE, L. F.; HEINEMANN, A. B.; CÁNOVAS, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Nitrogênio e água como fatores de produtividade do trigo no cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, p. 24-29, 2006.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 8, n.2, p.127-150, 1979.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Foreign agricultural Service (FAS)**. Disponível em: < <http://www.fas.usda.gov/>>. Acesso em: 05 abr. 2010.

WRIGHT, D. L. Canopy reflectance estimation of wheat nitrogen content for grain protein management. **GIScience and Remote Sensing**, New York, v. 41, p. 287-300, 2004.

ZAGONEL, J.; VENÂNCIO, W. S.; KUNZ, R. P.; TANAMATI, H. Doses de nitrogênio e densidade de plantas com e sem um regulador de crescimento afetando o trigo, cultivar OR-1. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, p. 25-29, 2002.