

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA
NORMALIZADA (NDVI) NO PATOSSISTEMA
PUCCINIA TRITICINA – TRITICUM AESTIVUM.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Rodrigo Alff Gonçalves

Santa Maria, RS, Brasil 2015

**ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA
NORMALIZADA (NDVI) NO PATOSSISTEMA
PUCCINIA TRITICINA – TRITICUM AESTIVUM.**

Rodrigo Alff Gonçalves

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Mecanização agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Agrícola.**

Orientador: Prof. Ricardo Silveiro Balardin

Santa Maria, RS, Brasil 2015

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Alff Gonçalves, Rodrigo
ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)
NO PATOSSISTEMA PUCCINIA TRITICINA - TRITICUM AESTIVUM. /
Rodrigo Alff Gonçalves.-2015.
47 p.; 30cm

Orientador: Ricardo Silveiro Balardin
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2015

1. Agricultura de precisão 2. Sensoriamento remoto 3.
Proteção de cultivos 4. Fitopatologia 5. Greenseeker I.
Silveiro Balardin, Ricardo II. Título.

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Curso Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação
de Mestrado**

**ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)
NO PATOSSISTEMA PUCCINIA TRITICINA – TRITICUM AESTIVUM.**

elaborada por
Rodrigo Alff Gonçalves

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Agrícola

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Ricardo Silveiro Balardin (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Dr. Marcelo Gripa Madalosso
URI – Campus Santiago

Dra. Monica Paula Debortoli
IPHYTUS – Instituto Phytus

Santa Maria, 02 de Março de 2015.

RESUMO

Dissertação de Mestrado

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola

Universidade Federal de Santa Maria

ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) NO PATOSSISTEMA PUCCINIA TRITICINA – TRITICUM AESTIVUM.

AUTOR: RODRIGO ALFF GONÇALVES

Orientador: Ricardo Silveiro Balardin

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 02 de Março de 2015

Uma das grandes dificuldades dentro do processo produtivo é monitorar/prever a presença de patógenos em nível de campo. Nesse sentido, o objetivo dessa pesquisa foi caracterizar as alterações no padrão espectral correlacionando com a incidência de doenças foliares em trigo. O delineamento experimental foi um fatorial (5x3) de blocos ao acaso com cinco doses de Nitrogênio (0, 25, 50, 75, 100 kg de N ha⁻¹) aplicados no afilhamento e três programas de manejo com fungicidas na parte aérea, além da testemunha sem aplicação. As avaliações e leituras de NDVI foram realizadas com o sensor óptico GreenSeeker Handheld Crop Sensor, em seis pontos pré-determinados dentro de cada parcela de 11 m² (2,2mx5m). As leituras do NDVI demonstraram alta correlação entre a AACPD e a redução da produtividade. O sensor GreenSeeker se mostrou eficiente na detecção de alterações espectrais provenientes de sinais e sintomas de *Puccinia triticina* Erikss.

Palavras-chave: agricultura de precisão, sensoriamento remoto,

greenseeker, proteção de cultivos, fitopatologia, sensores óticos.

ABSTRACT

NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI) IN THE PATOSSISTEM PUCCINIA TRITICINA – TRITICUM AESTIVUM.

AUTHOR: RODRIGO ALFF GONÇALVES

Advisor: Ricardo Silveiro Balardin

Date: Santa Maria, March 02nd, 2015.

One of the major problems and difficulties in the production process is to monitor / predict the presence, intensity and abundance of these pathogens under field conditions in a timely manner to avoid significant damage to production. In this sense, the objective of this research was to characterize the changes in the spectral pattern correlated with the incidence of foliar diseases in wheat. The experimental design was a factorial (5x3) randomized blocks with five doses of nitrogen (0, 25, 50, 75, 100 kg N ha⁻¹) applied at tillering and three management programs with fungicides in the shoot, the untreated control. Scores NDVI readings were performed with the optical sensor GreenSeeker Handheld Crop Sensor in six predetermined locations within each plot of 11 m² (2,2mx5m). It is possible to detect the presence of *Puccinia triticina* Erikss from the readings with NDVI GreenSeeker sensor. Scores NDVI can demonstrate that there is a strong correlation between AUDPC and reduced productivity. The GreenSeeker sensor proved efficient in detecting spectral changes from signs and symptoms of *Puccinia triticina* Erikss.

Keywords: precision agriculture, remote sensing, GreenSeeker, crop protection, plant pathology, optical sensors.

INTRODUÇÃO GERAL

O Trigo (*Triticum aestivum* L.) é um dos cereais mais cultivados no mundo, sendo constatada sua presença em aproximadamente 120 países (FAO, 2010), tendo considerável importância econômica, além de ser o alimento mais consumido no mundo, estando a frente do arroz e batata (FAO, 2010). Originário da antiga Mesopotâmia, chegou ao Brasil por volta de 1534 e teve seu início de cultivo no Estado do Rio Grande do Sul.

No Brasil, este cereal tem um consumo estimado de 60 kg por habitante, gerando uma demanda de 10 milhões de toneladas/ano (EMBRAPA, 2010). No entanto, o Brasil enfrenta algumas dificuldades em suprir essa demanda, o que obriga a importação de parte desse volume. Segundo Mundstock (1999), a origem da falta do cereal no Brasil, são os baixos incentivos e subsídios oferecidos para sua produção a pequena área cultivada e os baixos tetos de produtividade. Este último fator, está ligado a tecnologia aplicada no cultivo (sistema de produção, manejo, etc.).

Quanto aumento da produtividade, pesquisas vem sendo realizadas para desenvolver cultivares com potencial produtivo maiores e técnicas de manejo mais adequadas. A interação entre esses fatores, possibilitam o aumento da produtividade. Dentre os vários nutrientes importantes para o desenvolvimento da cultura do trigo, o Nitrogênio (N) exerce um destaque.

A falta desse nutriente, afeta diretamente a o crescimento e morfologia da planta, além de no período de emergência das plântulas até a diferenciação dos primórdios florais, também afetar diretamente a produção por reduzir o números de espigas por área, formação de espiguetas por espiga e massa de 1000 grãos. Essa

deficiência na planta pode ser ocasionada talvez pela difícil tarefa de manejar o N no solo, especialmente em ambientes tropicais, devido a alta instabilidade deste no solo, pois está sujeito a um grande número de reações (Ernani, 2003).

Os níveis de N recomendados hoje para a cultura do trigo, estão baseados em uma série de estudos determinados pela produção de biomassa associadas as necessidades biológicas dos tecidos (Gastal & Lemaire, 2002). Na planta, o N é constituinte de proteínas, enzimas, ácidos nucleicos e citocromos e principalmente, integrante da molécula de clorofila (Büll, 1993), além de participar de uma série de rotas metabólicas-chave em sua bioquímica, sendo constituinte de biomoléculas como ATP, NADH, NADPH (Harper, 1994). A característica do sintoma de deficiência de N na planta, é o aparecimento de clorose generalizada das folhas, tendo início nas folhas mais velhas podendo levar até a morte das mesmas, devido e este elemento ter mobilidade dentro da planta (Carvalho et al., 2003).

A aplicação de N em excesso, também pode afetar a produtividade por favorecer o acamamento das plantas, além de provocar contaminação ambiental. Visando buscar esse equilíbrio no fornecimento adequado dos níveis de N as plantas de trigo, foram sendo estudados técnicas e práticas como a agricultura de precisão, auxiliados por sensores óticos (Molin, 2001) que possibilitam quantificar em tempo real as doses de N aplicados, através de leituras diretamente na planta. Esta técnica trata cada zona de manejo de uma mesma área, de forma diferenciada, contrariando o sistema convencional onde considera toda a área de forma igual, mesmo reconhecendo a variabilidade na fertilidade do solo (Inman et al., 2005).

As tecnologias embarcadas em máquinas hoje, nos fornecem inúmeras informações, que se bem interpretadas, podem ajudar na hora de definir o manejo da lavoura. Os mapas de produtividade, por exemplo, podem contribuir na taxa variável de aplicação de fertilizante, pois integram fatores de solo, topografia, cultura e de clima. Entretanto, os fatores climáticos podem variar de um ano para outro (Welsh et al., 2003). Para Cassman et al. (2002), as práticas de manejo e o clima são os fatores que têm maior influência na produtividade. Ainda, Segundo esse mesmo autor, a interação entre clima e manejo resulta em variações, de ano para ano, na produtividade e na necessidade de N.

As produtividades atuais, estão muito abaixo dos potenciais apresentados pelas culturas, além de um coeficiente de variação alto entre produtividades, quando comparado entre produtores. Esta variação ocorre devido a não ser possível ou economicamente viável a correção ou eliminação dos fatores limitantes ao desenvolvimento das culturas como eliminação de plantas daninhas, correção de solos, disponibilização de nutrientes as culturas, etc.

O histórico de produtividade pode ser usado para a reposição de nutrientes a um solo cultivado, pressupondo que não há deficiência desses nutrientes nesse solo (Welsh et al., 2003). Entretanto, um estudo que comparou a recomendação de N com base no índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e na produtividade do milho, com leituras feitas nos estádios V8 e V9, foi mais acurado que aplicações baseadas somente na produtividade (Clay et al., 2006).

Segundo Wright et al., (2004), o sensoriamento remoto é uma ferramenta acurada para o monitoramento da cultura do trigo, pois

torna possível observar os padrões de toda a área, enquanto a maioria dos métodos de determinação de teores de N – medidores de clorofila e análise foliar, como exemplos – utiliza pequena quantidade de amostras da planta, para determinar a condição nutricional da cultura na lavoura.

A maioria dos índices de vegetação pode ser generalizada com uma derivação da reflectância de uma determinada superfície, a partir de certos comprimentos de onda. Essa derivação é função das propriedades óticas das folhas e das partículas do solo. No caso de vegetação óticamente densa, a derivação espectral, junto com os índices, é indicativo de abundância e de atividade dos absorvedores de radiação nas folhas. Portanto, os índices utilizados, baseados nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo, como o NDVI, realizam a mensuração da quantidade de clorofila e da absorção de energia (Myneni et al., 1997).

Quando as plantas apresentam uma maior cobertura do solo, ocorre uma maior absorção de ondas na banda do vermelho. Nesse caso, o sensor de NDVI torna-se insensível para variações de biomassa que no final do ciclo da cultura, poderá refletir na produtividade. Assim, quanto maior o valor do NDVI, a variação de produtividade em um valor específico do NDVI pode também ser alta e vice versa. Pequenas diferenças do NDVI reduzem a habilidade do sensor em prever com maior acurácia a produtividade e a absorção de N, especialmente quando a cobertura de solo já é alta nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura (Freeman et al., 2003).

A nutrição mineral das plantas, influencia diretamente no grau de severidade das doenças (Howard et al, 1994; Lyda, 1981; Marschner, 1966). O trigo apresenta uma resposta significativa em

termos de produção de grãos para adubação nitrogenada. No entanto, torna as plantas mais susceptíveis às doenças, impactando na produtividade final de grãos (Bouquet et al, 1987; Roth et al, 1987). A qualidade sanitária das sementes, também sofre interferência das condições nutricionais das plantas. Isso ocorre porque os nutrientes são indispensáveis na formação e desenvolvimento dos órgãos embrionários, assim como também na composição química do material de reserva das sementes (Carvalho et al, 1988).

O sensoriamento remoto, fornece dados para o manejo regionalizado das culturas (PLANT et al., 2000; LEON et al., 2003) e podem ser utilizados para caracterizar dados espaciais de uma cultura (YOUNAN et al, 1999; STEVEN, 2004). Segundo Freire et al (1998), o sensoriamento remoto captura informações da radiação refletida pelos alvos na superfície terrestre.

A refletância espectral é o parâmetro utilizado para distinguir os diferentes alvos numa imagem e está associado às características intrínsecas de composição físico-química do alvo, o que possibilita discriminar e/ou identificar os alvos das cenas. A radiação refletida pelas folhagens é função de características da própria espécie vegetal estudada e das condições em que elas se encontram. Porém, pragas e doenças frequentemente são responsáveis por muitos fatores que afetam a refletância. Em geral os tecidos infectados apresentam menor refletância na região do infravermelho (comprimento de onda $> 0,7 \mu\text{m}$), quando comparados com tecidos saudáveis, possibilitando a quantificação pelas diferenças de refletância.

Os sensores utilizados para avaliação espectral de uma cultura, utilizam os índices de vegetação que podem ser definidos

com a combinação de dados de duas ou mais bandas espectrais. Essas bandas são selecionadas com o objetivo de melhorar a relação desses dados com os parâmetros de vegetação (Moreira, 2000).

Com objetivo de 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.

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).

O GreenSeeker é um destes sensores, desenvolvido pela Universidade de Oklahoma (EUA), ao longo da década de 90 e licenciado pela NTech industries (Ukiah, CA, EUA) em 2001. Este aparelho utiliza diodos de emissão de radiação para gerar comprimentos de onda vermelho (650 nm) e infravermelha próximo (770 nm). Esta radiação é refletida pela cultura e medida por um fotodiodo localizado na frente do equipamento. A leitura de reflectância, pelo sensor, é calculada por um microprocessador interno, fornecendo o NDVI que é transmitido a um computador portátil, adaptado ao sensor (NTech industries, 2008).

Nesse sentido e com base nas informações acima descritas o objetivo desse trabalho foi correlacionar o NDVI, a produtividade, a incidência e severidade de *Puccinia triticina* na cultivar Quartzo e seu desempenho em campo na estação experimental do Instituto Phytus.

ARTIGO I - Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) no patossistema *Puccinia triticina* – *Triticum aestivum*.

RESUMO

Uma das grandes dificuldades dentro do processo produtivo é monitorar/prever a presença de patógenos em nível de campo. Nesse sentido, o objetivo dessa pesquisa foi caracterizar as alterações no padrão espectral correlacionando com a incidência de doenças foliares em trigo. O delineamento experimental foi um fatorial (5x3) de blocos ao acaso com cinco doses de Nitrogênio (0, 25, 50, 75, 100 kg de N ha⁻¹) aplicados no afilhamento e três programas de manejo com fungicidas na parte aérea, além da testemunha sem aplicação. As avaliações e leituras de NDVI foram realizadas com o sensor óptico GreenSeeker Handheld Crop Sensor, em seis pontos pré-determinados dentro de cada parcela de 11 m² (2,2mx5m). Os Índices de NDVI conseguiram demonstrar alta correlação entre a AACPD e a redução da produtividade. O sensor Greenseeker se mostrou eficiente na detecção de alterações espectrais provenientes de sinais e sintomas de *Puccinia triticina* Erikss.

Palavras-chave: agricultura de precisão, sensoriamento remoto, greenseeker, proteção de cultivos, fitopatologia, sensores óticos

ARTICLE 1 - Normalized difference vegetation index (NDVI) in the patossistem *Puccinia triticina* – *Triticum aestivum*

ABSTRACT

One of the major problems and difficulties in the production process is to monitor / predict the presence, intensity and abundance of these pathogens under field conditions in a timely manner to avoid significant damage to production. In this sense, the objective of this research was to characterize the changes in the spectral pattern correlated with the incidence of foliar diseases in wheat. The experimental design was a factorial (5x3) randomized blocks with five doses of nitrogen (0, 25, 50, 75, 100 kg N ha⁻¹) applied at tillering and three management programs with fungicides in the shoot, the untreated control. Reviews and NDVI readings were performed with the optical sensor GreenSeeker Handheld Crop Sensor in six predetermined locations within each plot of 11 m² (2,2mx5m). It is possible to detect the presence of *Puccinia triticina* Erikss from the readings with NDVI GreenSeeker sensor. Scores NDVI can demonstrate that there is a strong correlation between AUDPC and reduced productivity. The GreenSeeker sensor proved efficient in detecting spectral changes from signs and symptoms of *Puccinia triticina* Erikss.

Keywords: precision agriculture, remote sensing, GreenSeeker, crop protection, plant pathology, optical sensors.

INTRODUÇÃO

O Brasil figura entre os maiores produtores de grãos do planeta. Com uma ampla variação climática, é possível diversificar uma série de cultivos, além das convencionais commodities de exportação. Na safra de 2013, a produção nacional de cereais de inverno, cultivada nos estados do Sul do país, produziu 8,5 milhões de toneladas desses cereais, com uma produtividade média de 3,6 mil kg ha⁻¹.

O alto consumo desse cereal faz com que os sistemas de produção sigam em constante avanço tecnológico, na busca de plantas mais vigorosas e mais resistentes a intempéries do ambiente, pois é uma das culturas que sofre frequentemente com o ataque severo de patógenos, impactando na produtividade e custos de produção (DEBONA et al., 2009).

Dentre as doenças que atingem a parte aérea dessa cultura, a ferrugem da folha do trigo (*Puccinia triticina* Erikss) possui alta capacidade destrutiva comprometendo tanto o rendimento (50%) como a qualidade de grãos (ROELFS et al., 1992; REIS et al., 1996; CHAVES & BARCELLOS, 2006).

Um dos grandes problemas e dificuldades dentro do processo produtivo é monitorar/prever a presença e intensidade desses patógenos em nível de campo em tempo hábil de evitar danos significativos à produção (NUTTER et al. 1993)

A tecnologia embarcada na agricultura tem permitido o surgimento de ferramentas mais precisas que oferecem mais agilidade e assertividade na operação agrícola. Nos EUA, cerca de 80% das propriedades agrícolas utilizam a tecnologia comandada por GPS. Dentre eles grande destaque é dado aos sistemas

sensores, que propiciam a detecção precisa de alterações no comportamento espectral das espécies vegetais.

O desenvolvimento de sensores de que geram índices de NDVI pode fornecer informações importantes da sanidade vegetal com base na assinatura espectral mensurada pelo equipamento, antes mesmo da percepção do agricultor. Assim, estas informações podem antecipar a tomada de decisão e elevar a taxa de sucesso na operação agrícola.

Nesse sentido, o objetivo dessa pesquisa foi caracterizar as alterações no padrão espectral correlacionando com a incidência de doenças foliares em trigo.

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi conduzido na Estação Experimental do Instituto Phytus - Núcleo de Pesquisa, Itaara/RS/Brasil (S29° 35' 32,2"; O53° 49' 24,0"; 455m) com altitude de 460 m. O solo é classificado como Neossolo Litólico (Poelking, 2007). O clima da região é do tipo Cfa de Köppen - clima subtropical, úmido sem estiagem. A temperatura média anual é de 19,4°C, sendo a temperatura média mínima de 14-15°C (julho a agosto) e média máxima de 23-25°C (dezembro a fevereiro) (MORENO, 1961). O regime pluvial anual médio é de 1500 a 1750 mm ao ano.

A semeadura de *Triticum aestivum* L., semeada no dia 01 de julho de 2013 foi a cultivar Quartzo de ciclo médio, com finalidade de panificação, com espaçamento entre linhas de 0,17m e densidade populacional de 325 plantas m⁻². A adubação de base utilizada foi 300 kg ha⁻¹ de (NPK) 08-28-18. O delineamento experimental foi um fatorial (5x3) de blocos ao acaso com cinco

doses de Nitrogênio (0, 25, 50, 75, 100 kg de N ha⁻¹) aplicados no afilhamento e três programas de manejo com fungicidas na parte aérea, além da testemunha sem aplicação (tabela 1). Os tratamentos T2 e T3, receberam a aplicações de fungicidas a cada 15 dias, nos dias 30/08/13; 14/09/13 e 29/09/13, totalizando 3 aplicações. O T4 recebeu aplicação a cada 10 dias, nos dias 30/08/13; 09/09/13; 19/09/13 e 29/09/13, totalizando 4 aplicações, com objetivo de isolar o fator doença nesse tratamento, atuando como uma testemunha positiva. As aplicações foram realizadas com pulverizador costal pressurizado a CO₂, equipado com barra de aplicação de 2 metros de comprimento, pontas de pulverização XR11002, espaçadas a cada 50 cm. O volume de calda utilizada foi 111 l/ha aplicados a uma velocidade de 7 km/h com pressão de 2 bar (30 PSI).

Foram realizadas 13 avaliações de NDVI, tendo como início a fase de afilhamento, no dia 10/08/13 e a última avaliação no dia 05/11/13 quando a planta atingiu a maturação plena. As avaliações e leituras de NDVI foram realizadas com o sensor óptico GreenSeeker Handheld Crop Sensor, em seis pontos pré-determinados dentro de cada parcela de 11 m² (2,2mx5m) e realizada a média dessas leituras. As leituras foram realizadas sempre no mesmo ponto, na mesma altura do dossel das plantas (0,6m) e na mesma hora do dia, (figura 2), desde o afilhamento até a maturação total.

As variáveis analisadas, além da leitura de NDVI, foram severidade (NUTTER et al., 1993) de *Puccinia triticina* em trigo medida aos 0, 7, 14 e 21 dias após a aplicação de fungicidas (DAA), formado uma nota de severidade média de doença na parcela. A

avaliação foi realizada nas folhas bandeira de dez plantas localizadas nas cinco linhas centrais de cada parcela.

Tabela 1 – Fungicidas utilizados no ensaio de controle de ferrugem da folha (*Puccinia triticina*) com suas especificações. Itaara-RS, 2013.

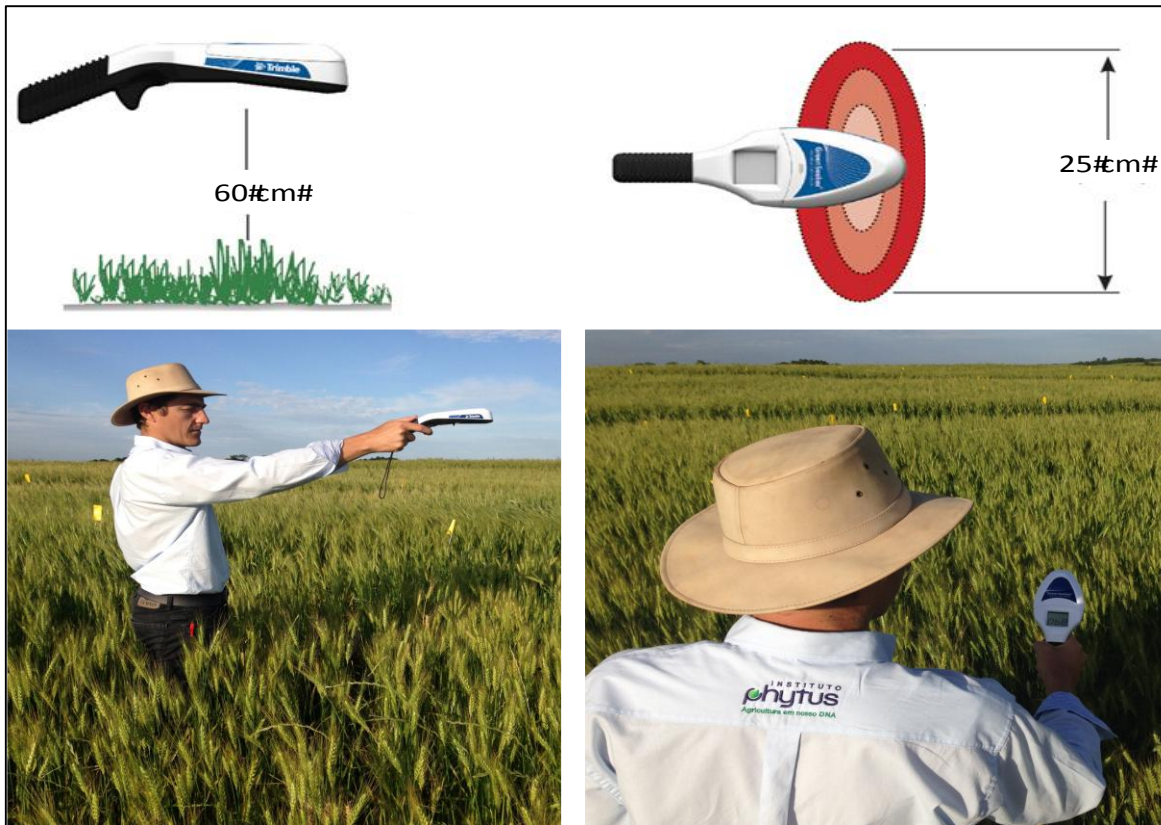
Tratamentos	Doses	
	Dose de I.A. ¹ (g i.a./ha)	Dose P.C. ² (l/ha)
1 – Testemunha	-	-
2 - (Trifloxistrobina + Protioconazol)	(87,5 + 75)	0,5
3 - (Piraclostrobina + Epoxiconazol)	(133 + 50)	1,0
4 - (Piraclostrobina + Epoxiconazol) + Propiconazol	+(99,75 + 37,5) + 125	(0,75) + 0,5

¹ I.A. (Ingrediente ativo); ² P.C. (Produto Comercial)

A quantificação da severidade, definida como a porcentagem da área foliar coberta com sintomas da doença, foi realizada com o auxílio de escala diagramática (GODOY et al., 2006). Os valores de severidade média de cada parcela foram utilizados para o cálculo da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) (CAMPBELL & MADDEN, 1990).

As leituras de severidade possibilitaram o cálculo da Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD), utilizando a fórmula $AACPD = S ((y1 + y2)/2) * (t2 - t1)$. Na sequência, foi estabelecida a correlação com os resultados de NDVI. O rendimento de grãos, foi obtido através da colheita da área útil de

8m² por parcela experimental. As amostras trilhadas foram acondicionadas em sacos de papel e determinada a umidade dos grãos em medidor eletrônico (John Deere®) com valores corrigidos



para 13% de umidade, visando o cálculo do rendimento (kg.ha⁻¹) e posteriormente pesados em balança analítica com precisão de 0,005 kg. Os dados de severidade, NDVI e rendimento de grãos foram submetidos à análise de variância, utilizando o programa SAS (Sas Institute, 2002), comparando as médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fig. 2: Avaliação em campo com o emprego do sensor GreenSeeker.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As medições realizadas no tratamento testemunha revelaram que existe uma estreita relação entre a adubação nitrogenada e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), corroborando com os resultados obtidos por Freeman et al., (2003), conforme a figura 3.

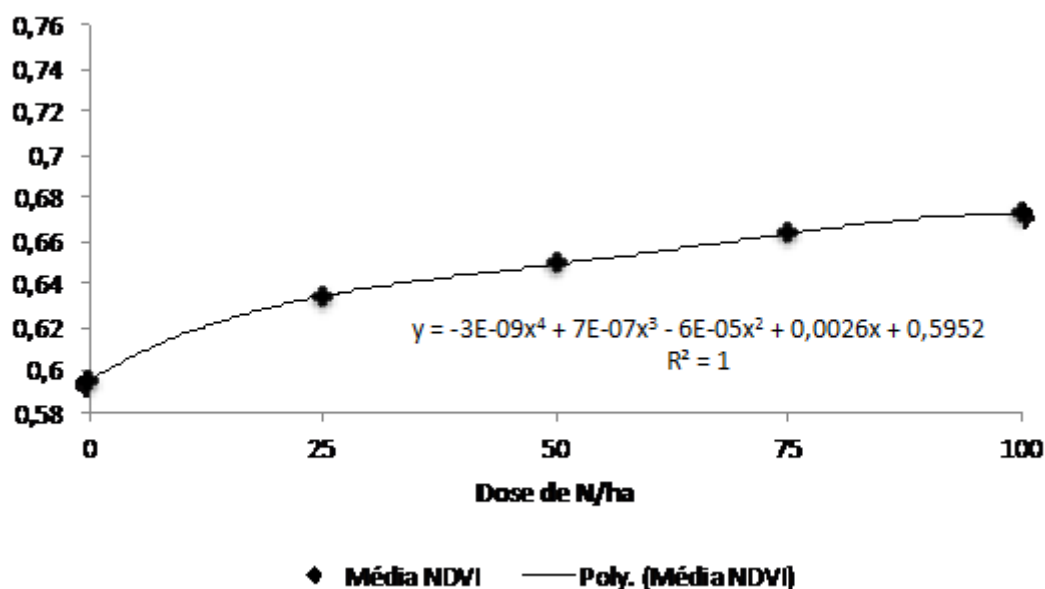


Figura 3: Relação entre NDVI e doses de adubação nitrogenada para o tratamento testemunha, Itaara - RS, 2014

De acordo com Moreira (2001), é possível verificar que quando ocorre um aumento do Índice de Área Foliar (IAF), ocorre um ligeiro aumento no NDVI, e a curvatura do índice atinge uma conformação assintótica, que pode ser percebida na figura 3. Este fato pode ser explicado pela diminuição da sensibilidade de NDVI em altos valores de IAF que ocorre devido à reflectância ser atenuada quando a superfície do solo está completamente encoberta pelas folhas. Esta saturação ocorre devido a quantidade de luz vermelha que pode ser absorvida pelas folhas, que gera um limiar em pico. Entretanto, a radiação no infravermelho próximo

(IVP) difundida pelas folhas continua sendo incrementada, assim que o IAF atinge o índice 3. Como resultado, tão logo o dossel atinja 100%, a reflectância no IVP tende a aumentar e em contrapartida a reflectância no vermelho mostrará uma sensível redução, resultando em suaves mudanças na relação entre índices (MOTOMIYA et al., 2014).

Durante o ciclo fenológico, em resposta a uma adaptação das plantas as condições ambientais, alterações bioquímicas na composição das folhas causam variações na interação da radiação solar com seus tecidos, como foi observado por Grant (1987). Dentre as adaptações ambientais, a presença de patógenos como a *Puccinia triticica*, interfere diretamente sobre uma série de processos metabólicos e fisiológicos. Em função dessas alterações causadas pelo ambiente e patógeno aos tecidos da planta, nota-se alterações no padrão espectral registrados pelo sensor, evidenciado pelo NDVI (Oerke et al., 2010).

Com relação a severidade de doenças, foi possível observar que o tratamento testemunha, para a cultivar em estudo, apresentou um comportamento particular de incremento de valores de AACPD, até que se atinja o limiar de 50 kg de N/ha. A medida que se atinge esse limiar, o aumento das doses de N apresentam pequena influência sobre a severidade da doença (figura 4).

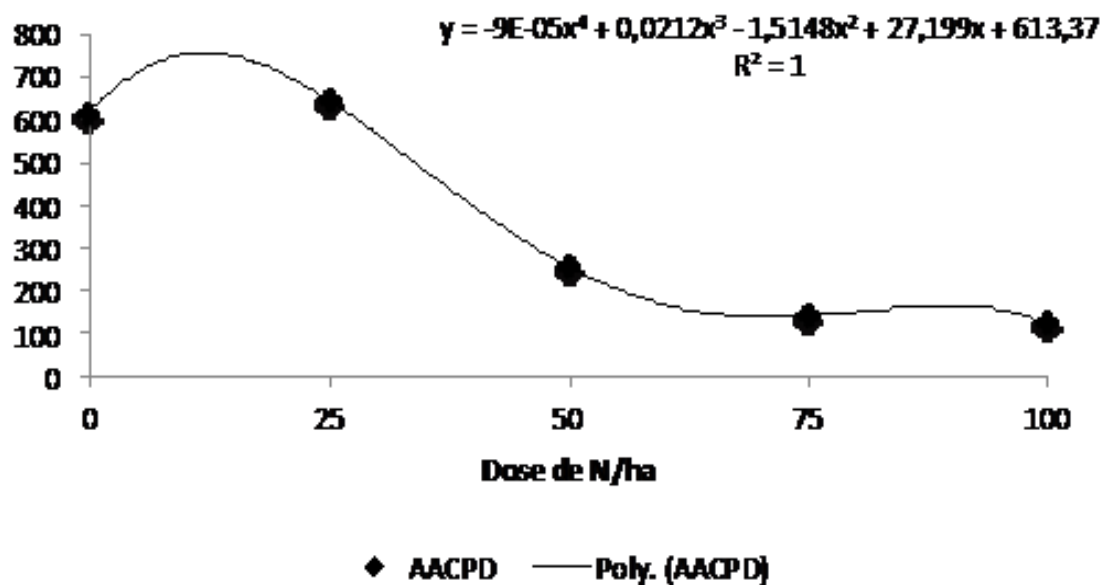


Figura 4: Relação entre AACPD e doses de adubação nitrogenada, Itaara - RS, 2014.

O estudo da análise de variância (ANOVA) apresentado na tabela 2, deixa evidente a relação inversa entre o NDVI e a AACPD, corroborando com os resultados encontrados por Motomiya et al., 2014. Os dados apresentaram um coeficiente de determinação (R^2) elevado, se adaptando a uma função de quarto grau. Atribui-se esse comportamento a exatidão e acurácia no levantamento de dados a campo que foram adquiridos pelo mesmo operador seguindo um padrão de coleta.

Tabela 2 – Comparação entre médias de NDVI e AACPD. Itaara-RS, 2014.

Tratamentos		NDVI	AACPD
Ingredientes Ativos (I.A.)			
T4	- (Piraclostrobina + Epoxiconazol) + Propiconazol	0,7275 a	182,35 d
T3	- (Piraclostrobina + Epoxiconazol)	0,7180 a	229,25 c

T2 - (Trifloxistrobina + Protioconazol)	0,7086 a	268,18 b
T1 – Testemunha	0,6719 b	641,37 a
CV (%)	3,19	2,77

Considerando os demais tratamentos testados, é possível inferir que o tratamento 4 (T4) foi o que apresentou o maior valores médios de NDVI com a menor severidade de *Puccinia triticina*. Esse resultado pode ser atribuído pela maior frequência de aplicações nesse tratamento, que ocorreram no intervalo de 10 dias desde o início do emborrachamento.

Foi possível verificar que com relação a produtividade, que o tratamento testemunha atingiu seu melhor desempenho na dose de 50 kg de N/ha com uma produção média de aproximadamente 2 toneladas/ha. Dessa forma torna-se evidente a interferência da doença no desempenho da cultura, mostrando que existe uma estreita correlação entre os índices adquiridos de NDVI, AACPD e adubação nitrogenada. Considerando a produtividade dos demais tratamentos, a figura 5 ilustra o comportamento da produtividade com relação aos diferentes tratamentos efetuados.

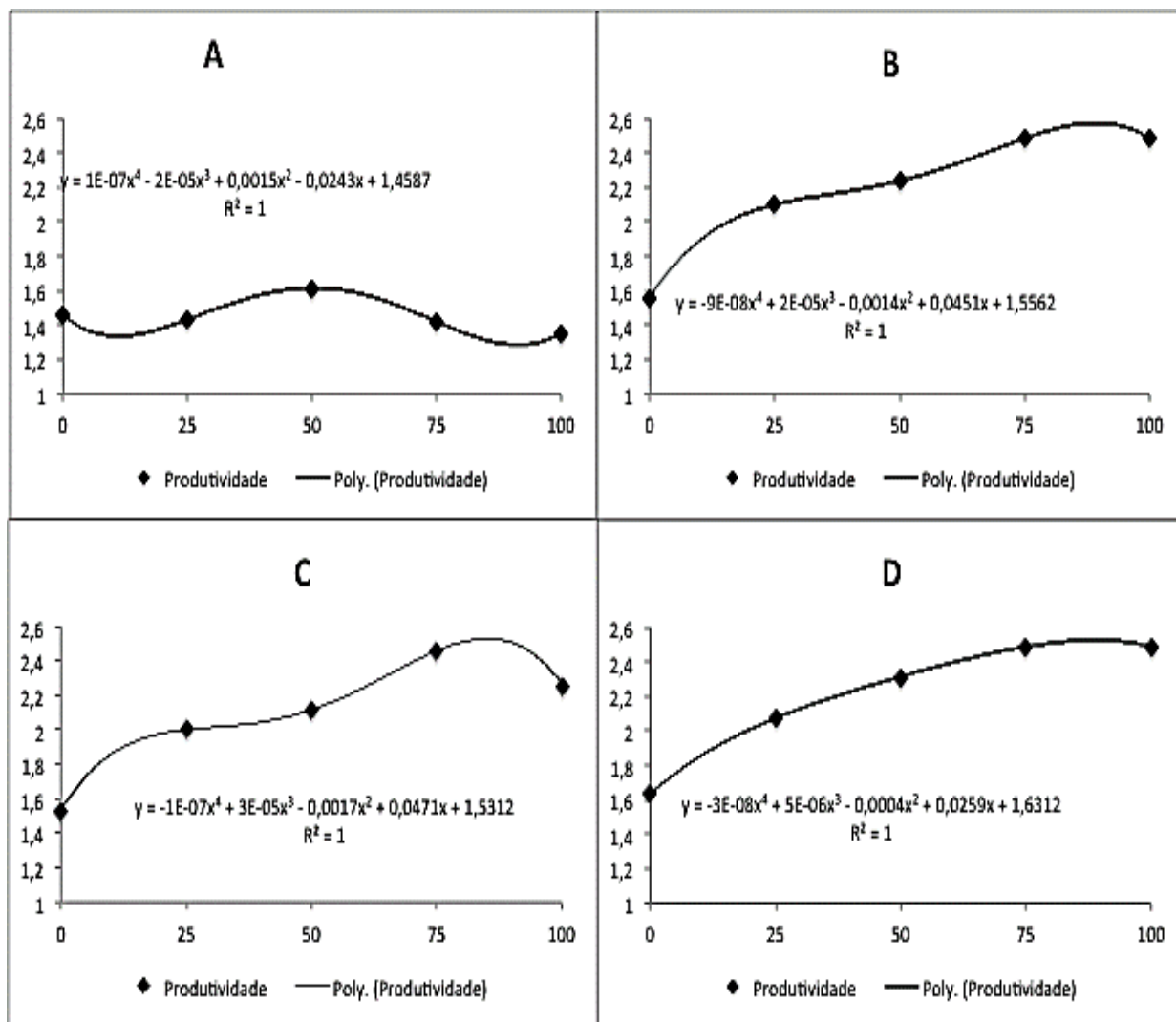


Figura 5: Produtividade nos diferentes tratamentos aplicados no ensaio: (A) Testemunha; (B) T2; (C) T3 e (D) T4. Itaara-RS, 2014

Os tratamentos 2 e 3 conforme (figura 5 - B e C), apresentaram seu maior pico de produtividade na dose de 75 kg de N/ha com 2,78 e 3,06 toneladas de grão/ha respectivamente. Cabe salientar que as aplicações de fungicidas foram realizada nesses tratamentos a cada 15 dias e se mostraram eficientes no controle da doença. O tratamento 4, (figura 5 - D) apresentou comportamento semelhante nas doses de 75 e 100 kg de N/ha, proporcionando uma produtividade de 3,1 toneladas de grão/ha. No entanto, esse tratamento foi o único que se estabeleceu um

programa de manejo de fungicidas a cada 10 dias, o que suprimiu o estabelecimento da doença na cultura.

Em termos práticos, é possível inferir que o estabelecimento de um programa de manejo não deve ser calendarizado. Também podemos afirmar que a adoção de aplicações a cada 10 dias do ponto da viabilidade econômica, não se mostra viável quando se compara simplesmente os índices de produtividade, para a cultivar em estudo, visto que a diferença constatada entre os intervalos de aplicações de 10 para 15 dias implicam no incremento de produtividade de apenas 1,29%, não sendo compensatório o custo da aplicação.

Realizando o coeficiente de correlação produto-momento (ρ) foi possível constatar a interação entre os fatores estudados, que podem ser visualizados na tabela 3.

Tabela 3: Análise de correlação de Pearson entre os fatores estudados.

Matriz de Correlação:

Pearson

	Produtividade	NDVI	AACPD
			-
Produtividade	1	0,745727908	0,543938845
NDVI	0,745727908	1	-

0,790226471

AACPD -0,543938845 0,790226471 1

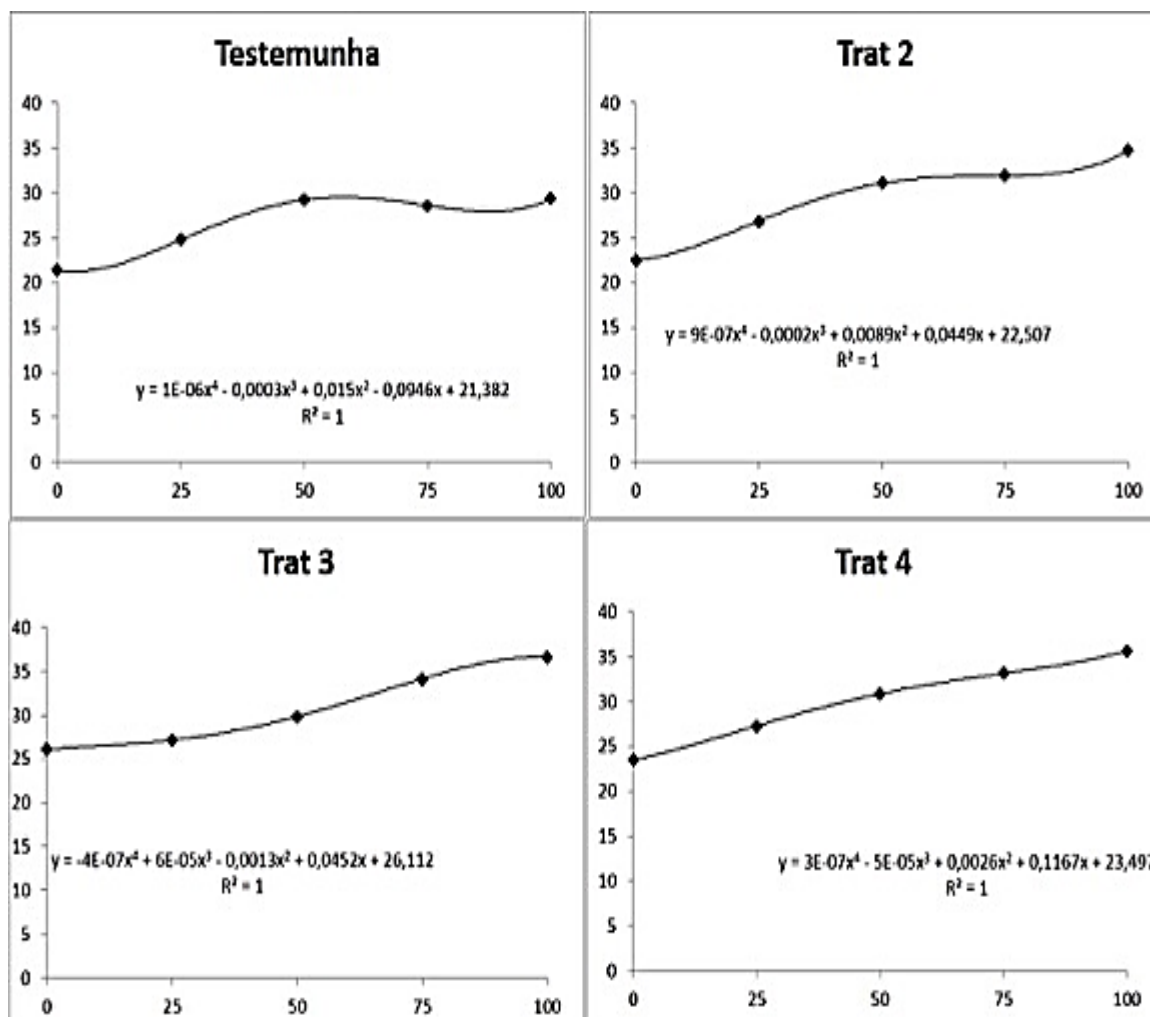
A análise de Pearson revela que existe uma correlação entre produtividade e NDVI e uma correlação moderada entre produtividade e a AACPD. O NDVI apresentou a capacidade de explicar cerca de 74% do desempenho da cultivar. Assim, provando que uma planta melhor nutrida, é capaz de melhor expressar seu potencial produtivo.

A AACPD exerce uma interferência negativa sobre a produtividade de aproximadamente 54% mostrando que existem outros fatores que contribuem para a perda de produtividade. A AACPD é uma variável que tem capacidade de representar a epidemia como um todo, levando em consideração o estresse que a cultura sofreu durante seus estágios de desenvolvimento (Bergamin Filho e Amorim, 1996). Assim, a análise correlacional indica que entre essas duas variáveis (NDVI x AACPD), apresentam uma força de correlação de 79%, ou seja, a mediada que a severidade da doença aumenta, os índices de NDVI são reduzidos. A manipulação adequada da nutrição de plantas pode se constituir em um importante mecanismo de controle de diversas doenças, por afetar a sobrevivência dos patógenos, sua reprodução e desenvolvimento, pela alteração de uma série de mecanismos fisiológicos e morfológicos de resistência da planta (TANAKA; FREITAS; MEDINA, 2006). Quando aferidos os índices de nitrogênio presentes nas folhas da cultivar quartzo (figura 6), em todos os 4 tratamentos, doses acima de 50 kg/ha implicam em pequenas

alterações no teor desse nutriente presente nas folhas corroborando com os resultados encontrados por Melero et al, (2013).

Figura 6 – Índice de nitrogênio presente nas folhas de trigo nas diferentes doses aplicadas.

O nitrogênio é móvel nos solos, portanto, está sujeito a processos de perdas por lixiviação, volatilização, desnitrificação, entre outros (TASCA, 2011). Esse fato passa a ser relevante, visto que o aumento dessas doses implicam em custos de produção mais elevados e diminuem a rentabilidade do produtor.



Na ausência de aplicação de fungicida, conforme pode ser evidenciado na fig. 3A, verificamos que nas doses de 50 kg de N, a cultivar apresentou a produtividade de 1,6 ton/ha , ou seja muito

abaixo da média estadual que gira em torno dos 2,1 ton/ha (EMATER-RS/ASCAR, 2014).

Na presença de manejo fitossanitário (fig 7 B,C,D), na dose de 75 kg de N, a produtividade atingiu em torno de 2,5 ton/ha, independente do tratamento fungico empregado.

Do ponto de vista técnico, foi possível constatar que doses de nitrogênio superiores a 75kg de N/ha não promovem incremento na produtividade da cultivar quartzo.

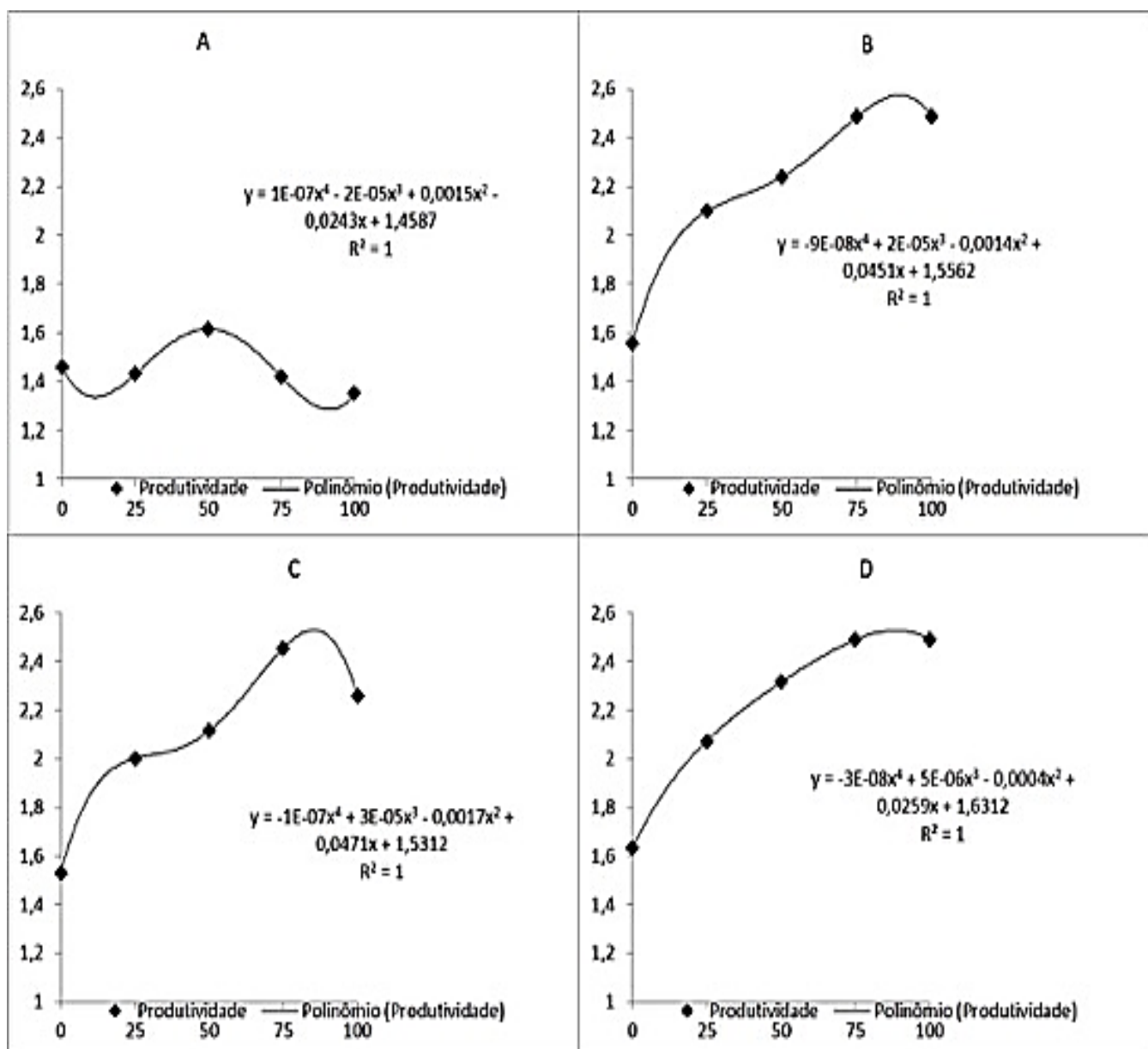


Figura 7 - Curvas de resposta da interação entre dose de nitrogênio e tratos fitossanitários em relação a produtividade (A) testemunha, (B) (Trifloxistrobina + Protioconazol), (C) (Piraclostrobina + Epoxiconazol), (D) (Piraclostrobina + Epoxiconazol) + Propiconazol, Itaara – RS, 2014.

CONCLUSÕES

- 1- É possível detectar a presença de *Puccinia triticina* Erikss a partir das leituras de NDVI com o sensor Greenseeker.
- 2- Os Índices de NDVI conseguem demonstrar que existe uma correlação entre a AACPD e a redução da produtividade.
- 3- O sensor Greenseeker se mostrou eficiente na detecção de sinais e sintomas de *Puccinia triticina* Erikss.
- 4- A aplicação de doses superiores a 50 kg de N apresentaram menor incidência de ferrugem da folha.
- 5- O manejo com fungicidas e adubação de 75 kg de N/ha, promove um incremento de 10 sacos por hectare, comparado com a testemunha.
- 6- Doses superiores a 75 kg de N por hectare aliados a tratamentos fitossanitários são antieconômicas, e reduzem a produtividade da cultivar quartzo.

Referencias Bibliográficas

BATTISTUS, A. G.; KUHN, O. J.; STANGARLIN, J. R.;
HOFFMANN, M.R.B; STÜLP, J.L.; ISTCHUK, A. N. Comportamento da cultura do trigo tratado com enraizador e bioativador de plantas. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 12, n.1, p.17-29, 2013.

BOHATCHUK, D. A.; CASA, R. T.; BOGO, AMAURI; KUHNE JUNIOR, P. R.; REIS, E. M.; MOREIRA, E. N. Modelo de ponto crítico para estimar danos de doenças foliares do trigo em patossistema múltiplo. **Tropical Plant Pathology**, vol. 33, n. 5, p. 363-369, 2008.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos**. Safra 2012/2013. Brasília: Conab, 2013. 36p.

CHABOUSSOU, F. **Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos: a teoria da trofobiose**. Tradução de GUAZELLI, M. J. Porto Alegre: L&PM, 1987. 256p.

DEGRAF, H.; ZAGONEL, J.; FERNANDES, E.C. Doses de nitrogênio, regulador de crescimento e programas de controle de doenças afetando a cultivar de trigo ônix. **Publicatio UEPG: Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, v.14, n. 2, p. 143-152, 2008.

ESPINDULA, M. C.; ROCHA, V. S.; SOUZA, M. A. DE; GROSSI, J. A.S; SOUZA, L. T. DE. Doses e formas de aplicação de nitrogênio no desenvolvimento e produção da cultura do trigo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 6, p. 1404-1411, 2010.

FAQUIN, V. **Diagnose do estado nutricional das plantas.** Curso de pós-graduação; "Lato Sensu" à distância. (Fertilidade do solo e nutrição de plantas no agronegócio). Fundação de apoio ao ensino, pesquisa e extensão. Lavras: UFLA. 2002. 77p.

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*, v.34, p.1837-1852, 2003.

HIKISHIMA, M.; CANTERI, M. G.; GODOY, C.V.; KOGA¹, L. J.; SILVA, A. J. DA Quantificação de danos e relações entre severidade, medidas de refletância e produtividade no patossistema ferrugem asiática da soja. **Tropical Plant Pathology**, v. 35, n.2, p. 96-103, 2010.

KUHNEM JUNIOR, P. R.; CASA, R.T.; RIZZI, F. P.; MOREIRA, E. N.; BOGO, A. Desempenho de fungicidas no controle de doenças foliares em trigo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.8, n.1, p. 35-42, 2009.

LOOMIS, R. S.; AMTHOR, J. S. Yield potential, plant assimilatory capacity, and metabolic efficiencies. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 1, p. 1584–1596, 1999.

MALAVOLTA, E. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: Potafós,1997. 319p.

MELERO, M.M.; GITTI, D.C.; ARF, O.; RODRIGUES, R.A.F. Coberturas vegetais e doses de nitrogênio em trigo sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 4, p. 343-353, 2013.

MORALES, R.G.F.; SANTOS, I. DOS; TOMAZELI, V. N. Influência da nutrição mineral foliar sobre doenças da parte aérea da cultura do trigo. **Revista Ceres**, v. 59, n.1, p. 71-76, 2012.

OLIVEIRA, G. M. DE; PEREIRA, D. D.; CAMARGO, L.C.M. DE; BALAN, M. G.; CANTERI, M. G.; IGARASHI, S.; ABI SAAB, O.J.G. Controle da ferrugem da folha do trigo (*Puccinia triticina*) em diferentes momentos de aplicação de fungicida **Arquivos do Instituto Biológico**, v.80, n.4, p. 436-441, 2013.

REIS, E.M.; CASA, R.T. **Doenças dos cereais de inverno: diagnose, epidemiologia e controle**. 2.ed. Lages: Graphel, 2007. 176 p.

REIS, E.M.; LEITES, A.; FORCELINI, C.A. **Relações entre intensidade da doença, refletância da radiação solar e**

rendimento de grãos no patossistema ferrugem da folha de trigo. Fitopatologia Brasileira, v. 31, p. 457-464, 2006.

RODRIGUES, O.; TEIXEIRA, M. C. C.; **Efeito da adubação nitrogenada, arranjo de plantas e redutor de crescimento no acamamento e em características de cevada.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003.

TANAKA, M. A. DE S.; FREITAS, J. G. DE; MEDINA, P. F. Incidência de doenças fúngicas e sanidade de sementes de trigo sob diferentes doses de nitrogênio e aplicação de fungicida. **Summa Phytopathologica**, v. 34, n. 4, p. 313-317, 2008.

TASCA, F. A.; ERNANI, P. R.; ROGERI, D. A.; GATIBONI, L.C.; CASSOL, P.C. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v.4, n.2, p.493-502, 2011.

TORMEN, N. R.; LENZ, G.; MINUZZI, S. G.; UEBEL, J.D.; CEZAR, H. S.; BALARDIN, R. S. Reação de cultivares de trigo à ferrugem da folha e mancha amarela e responsividade a fungicidas. **Ciência Rural**, v.43, n.2, p.239-246, 2013.

TUTIDA, I.; MAY-DE MIOI, L. L.; MOTTA, A.C. V.; ROSA, J. M.C. Incidência e severidade do “furo de bala” em folhas da ameixeira sob doses de nitrogênio e potássio. **Ciência Rural**, v.37, n.5, p. 1227-1234, 2007.

TROJAN, D. G. **Avaliação do efeito de piraclostrobina aplicada ao final do perfilhamento sobre a produtividade da cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.). Dissertação de Mestrado em Agronomia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta grossa-PR, 2009.**

DISCUSSÃO GERAL

O caminho da profissionalização maciça da agricultura começa pela adoção de novas tecnologias, onde a cada dia vivenciamos o desafio de produzir mais e melhor a cada safra. O uso de tecnologias embarcadas, a busca pelo entendimento da heterogeneidade nos sistemas produtivos é uma luta constante, que tende a ser superada, entendida e explorada.

Esse trabalho caracteriza uma inovação na forma convencional de quantificar e detectar a presença dos sinais de patógenos, antes mesmo das manifestações dos sintomas da doença e por essa razão a metodologia adotada foi capaz de ser aplicada e mostrou-se eficiente para a detecção preventiva de estresses causados pela manifestação de patógenos.

A resposta espectral modificada pela ação dos patógenos promove alterações sensíveis na taxa fotossinteticamente ativa das plantas da cultivar quartzo, o que pode ser evidenciado pelo comportamento da curva de leitura do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), revelando que existe uma estreita relação com a disponibilidade de adubação nitrogenada que a planta recebe, corroborando com os resultados aferidos por Freeman et al., (2003). Conforme Chabousou propôs em 1969 através da teoria da trofobiose, há também uma estreita relação entre o estado nutricional das plantas e a incidência de doenças.

Moreira (2000), verificou que quando ocorre um aumento do Índice de Área Foliar (IAF), ocorre também um aumento do NDVI, conforme observamos nesse trabalho. Logo, o IAF assume uma

importância nas leituras de NDVI. As alterações morfológicas e fenológicas da planta durante seu ciclo, provocam maior ou menor vulnerabilidade à patógenos do ambiente.

A *Puccinia triticina*, interfere diretamente sobre uma série de processos metabólicos da planta, afetando o IAF e conseqüentemente nas leituras de NDVI, por alterar o padrão espectral da planta (Oerke et al., 2010). Como observado no trabalho, os valores de AACPD, tiveram um comportamento particular no tratamento testemunha, onde não tinha aplicação nitrogênio. Quando foi adicionado doses de N, especialmente a partir da dose de 50 kg de N/ha, a AACPD teve seu valor decrescido consideravelmente.

A teoria da trofobiose pode explicar esse decréscimo da AACPD com a adição de N para a planta. A teoria destaca a importância da nutrição sobre o potencial biótico (tolerância/resistência) das plantas ao ataque de patógenos, sem desconsiderar os fatores genéticos inerentes. Ela também correlaciona-se positivamente com o estado fisiológico atual da proteossíntese, ou seja, plantas em estado ótimo de síntese de proteínas, apresentam menores possibilidades de manifestar os sintomas das doenças (CHABOUSSOU, 1969). Oerke et al, (2006) destacam em estudo que a correlação entre a severidade da doença e alterações fisiológicas na planta, como o aumento da temperatura foliar, não somente incrementam o tamanho das lesões como interferem sobre o número de lesões por folha o que esta relacionado com a alta condutividade termal da água presente nos tecidos.

Através dos estudos de análise de variância, é possível inferir que há uma correlação inversa entre NDVI e AACPD. Resultado

semelhante também foi encontrado por Motomiya et al em 2014. Foi possível observar que os maiores índices de NDVI, foram na maior dose de N disponibilizado para a planta com a menor severidade.

No que diz respeito ao resultados de influência sobre a produtividade, os mesmos não seguiram um padrão, variando conforme o programa de manejo de fungicidas aplicados. O tratamento onde o intervalo de aplicação foi menor, resultou na maior produtividade média observada. Fica evidente com esse resultado a importância de não realizar uma calendarização nos programas de manejo. É possível inferir que intervalos muito curtos entre as aplicações, pode se tornar inviável sob o ponto de vista econômico devido as respostas de produtividade.

Com a análise de correlação de Pearson, foi possível inferir que existe uma forte correlação entre produtividade e NDVI e uma correlação moderada entre produtividade e a AACPD. A partir do desempenho do cultivar, foi possível quantificar que 74% é explicado pelo NDVI. Desta maneira, plantas com um plano de nutrição adequado e bem desenvolvidas, tem uma capacidade superior de expressar seu potencial produtivo.

A AACPD exerce uma interferência negativa sobre a produtividade de aproximadamente 54% mostrando que existem outros fatores que contribuem para a perda de produtividade. No entanto, o somatório das interferências, essa assume importante destaque. A AACPD é uma variável que tem capacidade de representar a epidemia como um todo, levando em consideração o estresse que a cultura sofreu durante seus estágios de desenvolvimento (Bergamin Filho e Amorim, 1996). Assim, a análise de correlação, indica que entre essas duas variáveis (NDVI x AACPD), apresentam íntima inter-relação de 79%, ou seja, a

medida que a severidade da doença aumenta, os índices de NDVI são reduzidos.

Estabelecer um programa de manejo com intervalos curtos de aplicação de fungicidas, pode impactar sob o ponto de vista econômico, não se tornando viável. Por outro lado, intervalos longos se tornam ineficientes tecnicamente por não apresentarem controle da doença e diminuindo a produtividade, assim como faixas de aplicação de N superiores a 100 kg por hectares tornam-se antieconômicas.

Nesse sentido, os rumos das pesquisas apresentam esse caráter técnico-científico e cumpre sua função social, que é a de garantir ao produtor a sua sustentabilidade, como impacto direto. Ao mesmo tempo, no momento em que se evita uma pulverização de um agrotóxicos em uma área agrícola, temos a garantia de evitar-se efeitos indesejáveis sobre inimigos naturais, que podem ser reduzidos em função de efeitos secundários.

CONCLUSÃO GERAL

- 1 - É possível detectar a presença de *Puccinia triticina* Erikss a partir das leituras de NDVI com o sensor GreenSeeker.
- 2 - Os Índices de NDVI conseguem demonstrar que existe uma correlação entre a AACPD e a redução da produtividade.
- 3 - O sensor GreenSeeker se mostrou eficiente na detecção de sinais e sintomas de *Puccinia triticina* Erikss.
- 4 - A aplicação de doses superiores a 50 kg de N apresentaram menor incidência de ferrugem da folha.
- 5 - O manejo com fungicidas e adubação de 75 kg de N/ha, promove um incremento de 10 sacos por hectare, comparado com a testemunha.
- 6 - Doses superiores a 75 kg de N por hectare aliados a tratamentos fitossanitários são antieconômicas, e reduzem a produtividade da cultivar quartzo.

Referencias Bibliográficas

BERGAMIN FILHO A.; AMORIM, L. Doenças de plantas tropicais: Epidemiologia e controle econômico. São Paulo-SP. Editora Agronômica Ceres. 1996. 289 p

BOUQUET, D.J.; JOHNSON, C. Fertilizer effects on yield, grain composition, and foliar disease of double crop soft red winter wheat. *Agronomy Journal*, Madison, v.79, n.1, p.135-141, 1987.

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

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.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 3.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1988. 424p.

CASSMAN, K.G.; DOBERMANN, A.; WALTERS, D.T. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. *AMBIO*, v.31, p.132-140, 2002.

CLAY, D.E.; KIM, K.I.; CHANG, J.; CLAY, S.A.; DALSTED, K. Characterizing water and nitrogen stress in corn using remote sensing. *Agronomy Journal*, v.98, p.579-587, 2006.

EMBRAPA. Trigo. 2010. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/trigo/informacoes_tecnicas_trigo_triticales_safr_2010.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2014.

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 nov. 2014.

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*, v.34, p.1837-1852, 2003.

FREIRE, M. L. F. ; BASTOS, E. J. B. Simulation of spectral planetary reflectance of targets. *Rev. Bras. Geof.*, São Paulo, v.16, n.2-3, Jul./Nov.1998.

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. *Journal of Experimental Botany*. New York, v. 53, p. 789 - 799, 2002.

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

HOWARD, D.D.; CHAMBERS, A.Y.; LOGAN, J. Nitrogen and fungicide on yield components and disease severity in wheat. *Journal of Production Agriculture*. Madison, v.7, n.4, p. 448-454, 1994.

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.

LEON, C.T.; SHAW, D.R.; COX, M.S.; ABSHIRE, M.J.; WARD, B.; WARDLAW III, M.C. Utility of remote sensing in predicting crop and soil characteristics. *Precision Agriculture*, v. 4, p. 359-284, 2003.

LYDA, S.D. Alleviating pathogen stress. In: ARKIN, G.F.; TAYLOR, H.M. *Modifying the root environment to reduce crop stress*. Michigan: American Society of Agriculture and Engineering, 1981, p. 195-214.

MARSCHNER, H. Relationship between mineral nutrition and plant diseases and pests. In: MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. London: Academic Press, 1966. p.369 - 390.

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

MOTOMIYA, A. V. de A.; Valente, I. M. Q.; Molin, J. P.; Motomiya W. R.; Biscaro G. A.; Jordan, R. A. Índice de vegetação no algodoeiro sob diferentes doses de nitrogênio e regulador de crescimento. Semina: Ciências Agrárias, v. 35, n. 1, p. 169-178, 2014.

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

MYNENI, R.B.; RAMAKRISHNA, R.; 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, v.35, p.1380-1393, 1997.

OERKE, E. C. ; STEINER, U.; DEHNE, H. W.; LINDENTHAL M. Thermal imaging of cucumber leaves affected by downy mildew and environmental conditions. Journal of Experimental Botany, v. 57, n. 9, p. 2121–2132, 2006.

OERKE, E. C.; GERHARDS, R.; MENZ, G.; SIKORA, R. A. Precision Crop Protection – The Challenge and Use of Heterogeneity. London New York. Springer. Dordrecht Heidelberg, 2010. 426p.

PLANT, R.E.; MUNK, D.S.; ROBERTS, B.R.; VARGAS, R.N.; RAINS, D.W.; TRAVIS, R.L.; HUTMACHER R. B. Relationships between remotely sensed reflectance data and cotton growth and yield. Transactions of the ASAE, v. 43, n. 3, p.535-546, 2000.

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

ROTH, G.W.; MARSHALL, H.G.; HATLEY, O.E.; HILL JR., R.R. Effect of management practices on grain yield, test weight, and lodging of soft red winter wheat. Agronomy Journal, Madison, v.76, n.3, p. 379-383, 1987.

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.

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.

STEVEN, M.D. Correcting the effects of field of view and varying illumination in spectral measurements of crops. Precision agriculture, v. 5, p. 55-72, 2004.

WELSH, J.P.; WOOD, G.A.; GODWIN, R.J.; TAYLOR, J.C.; EARL, R.; BLACKMORE, S.; KNIGHT, S.M. Developing strategies for spatially variable nitrogen application in cereals. Part I: winter barley. Biosystems Engineering, v.84, p.481-494, 2003.

WRIGHT, D.L.; RASMUSSEN, V.P.; RAMSEY, R.D.; BAKER, D.J.; ELLSWORTH, J.W. Canopy reflectance estimation of wheat nitrogen content for grain protein management. GIScience and Remote Sensing, v.41, p.287-300, 2004.

YOUNAN, N.H.; KING, R.L. Classification of hyperspectral data: a comparative study. Precision Agriculture, v. 5, p. 41-53, 1999.