

**UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CÂMPUS DE ERECHIM
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRARIAS
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

DENER MATEUS PERIN

**ANÁLISE DA RELAÇÃO DOS DADOS DE NDVI COM DIFERENTES
TRATAMENTOS DE ADUBAÇÃO NITROGENADA E VARIEDADES DE TRIGO**

ERECHIM

2018

DENER MATEUS PERIN

**ANÁLISE DA RELAÇÃO DOS DADOS DE NDVI COM DIFERENTES
TRATAMENTOS DE ADUBAÇÃO NITROGENADA E VARIEDADES DE TRIGO**

**Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do grau de Engenheiro
Agrícola, Departamento de Ciências da
Terra, da Universidade Regional
Integrada do Alto Uruguai e das
Missões – Campus de Erechim.**

Orientadores: Vanderlei Secretti Decian

**ERECHIM
2018**

DENER MATEUS PERIN

**ANÁLISE DA RELAÇÃO DOS DADOS DE NDVI COM DIFERENTES
TRATAMENTOS DE ADUBAÇÃO NITROGENADA E VARIEDADES DE TRIGO**

**Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do grau de Engenharia
Agrícola, Departamento de Ciências da
Terra, da Universidade Regional
Integrada do Alto Uruguai e das
Missões – Campus de Erechim.**

Erechim, 28 de junho de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Vanderlei Secretti Decian
URI – Campus Erechim

Prof. Dr. Jardes Bragagnolo
URI – Campus Erechim

Prof. Ed Wilson Schneider
URI – Campus Erechim

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Valdecir Perin e Liane Barrancelli Perin, pelo incondicional apoio, esforço e sacrifício para me oferecer condições de chegar até aqui.

A meu irmão, Deone Marcos Perin, pelo companheirismo e amizade em todos os momentos necessários e oportunos.

Aos professores Dr. Vanderlei Secretti Decian, Dr. Jardes Bragagnollo e a Ed Wilson Schneider pela orientação, pelos ensinamentos, pela dedicação e pela confiança na elaboração deste trabalho;

A todos os professores, que de alguma forma, auxiliaram e foram extremamente importantes no meu crescimento acadêmico;

A todos os colegas de curso, que participaram desta caminhada, dos quais compartilhou-se grandes ensinamentos.

A esta Universidade, pela oportunidade de fazer o curso;

Aos meus tios Sérgio Peliser e Vâni Barrancelli Peliser pelo apoio em inúmeros momentos durante o decorrer do curso.

A todos os meus familiares, que sempre torceram por mim, e a todos aqueles que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, fazendo todo esforço valer a pena;

As pessoas que ajudaram na condução do experimento implantado no campus 2 da URI.

A todos os amigos que de alguma forma auxiliaram de forma positiva na aquisição de conhecimento.

Ao senhor, meu Deus, o qual é fonte de inspiração a qualquer ser.

Não se deve ir atrás de objetivos fáceis, é preciso buscar o que só pode ser alcançado por meio dos maiores esforços.

(Albert Einstein)

RESUMO

Atualmente o trigo possui grande importância econômica e social, e um dos principais limitantes na produção desta cultura é a disponibilidade de nitrogênio para as plantas. O uso de imagens espectrais pode ser um grande aliado para a determinação da dose de nitrogênio que deve ser aplicada em cada parcela da lavoura. O presente trabalho teve por objetivo correlacionar os dados de NDVI obtidos por meio de imagens de um VANT (veículo aéreo não tripulado) com a adubação nitrogenada aplicada a lanço e com a produtividade obtida nos diferentes manejos impostos às parcelas. Para isso utilizou-se os softwares Idrisi Selva, MapInfo e o programa estatístico R. Os dados de NDVI obtidos e a adubação imposta apresentaram boa correlação, enquanto o NDVI e a produtividade não apresentaram correlação. Concluiu-se com o trabalho que a adubação e a geração do aumento de biomassa são variáveis que quando se adiciona adubação nitrogenada aumenta a relação da biomassa da cultura do trigo. O fato de não haver correlação entre o NDVI e a produtividade pode estar associado à fertilidade do solo que homogeneizou os valores de produtividade nas parcelas e às condições climáticas que produziram restrições ao desempenho da cultura.

Palavras chave: Técnicas de manejo, Biomassa, VANTs.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização do Experimento junto ao Campus II – URI Erechim.....	19
Figura 2 - Desenho amostral das 96 parcelas distribuídas em 3 blocos amostrais...	20
Figura 3 - Desenho amostral das variedades e da dose de N ha ⁻¹ aplicadas nas parcelas.....	21
Figura 4 - Gráfico da precipitação diária e acumulada durante o ciclo de cultivo do trigo na safra 2017.	22
Figura 5 - Banco de dados relacional estruturado para as unidades amostrais.....	24
Figura 6 - NDVI obtido para as oito variedades testadas de acordo com as doses de N.....	27
Figura 7 - NDVI obtido para a variedade Audaz de acordo com a dose de N.....	28
Figura 8 - NDVI obtido para a variedade Energia de acordo com a dose de N.....	28
Figura 9 - NDVI obtido para a variedade Iguaçu de acordo com a dose de N	28
Figura 10 - NDVI obtido para a variedade Sintonia de acordo com a dose de N	28
Figura 11 - NDVI obtido para a variedade Sinuelo de acordo com a dose de N	29
Figura 12 - NDVI obtido para a variedade Sonic de acordo com a dose de N	29
Figura 13 - NDVI obtido para a variedade Sossego de acordo com a dose de N	29
Figura 14 - NDVI obtido para a variedade Toruk de acordo com a dose de N.....	29
Figura 15 - Desenho amostral das parcelas com a respectiva dose de Nitrogênio e a classe do NDVI.....	30
Figura 16 - BoxPlot da relação dose de N e NDVI (Letras diferentes caracterizam diferença).	31
Figura 17 - BoxPlot da relação dose de N e Produtividade.....	32
Figura 18 - Desenho amostral das parcelas com a respectiva produção obtida (t ha ⁻¹) e a classe do NDVI obtido	33
Figura 19 - Desenho amostral das parcelas com as variedades implantadas e sua respectiva produtividade obtida (t ha ⁻¹).	34

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVO	10
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1 A CULTURA DO TRIGO	11
3.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO	12
3.2.1 Aplicação de insumos a taxas variáveis	13
3.3 SENSORIAMENTO REMOTO	14
3.3.1 Radiação eletromagnética	15
3.3.2 Índices espectrais	15
3.3.3 Espectro eletromagnético	16
3.3.4 Índice de vegetação por diferença normalizada - NDVI	16
3.4 GEOPROCESSAMENTO.....	17
3.4.1 Banco de Dados Geográficos	18
3.5 VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS – VANT’S	18
4.0 MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	19
4.2 DESENHO AMOSTRAL E DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO	20
4.3 OBTENÇÃO DAS FOTOGRAFIAS AÉREAS.....	22
4.4 DIGITALIZAÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS E ESTRUTURAÇÃO DO BANCO DE DADOS EM APLICATIVO SIG	23
4.5 OBTENÇÃO DOS DADOS DE PRODUTIVIDADE	24
4.6 OBTENÇÃO DOS ÍNDICES ESPECTRAIS DE NDVI PARA AS UNIDADES AMOSTRAIS	25
4.7 ANÁLISE DOS DADOS.....	25
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1 DADOS DE NDVI OBTIDOS E RELAÇÃO COM A ADUBAÇÃO	27
5.2 DADOS DE NDVI E RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE.....	32
5.3 DADOS DE PRODUTIVIDADE E RELAÇÃO COM ADUBAÇÃO	33
6 CONCLUSÕES	35
7 REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

O potencial produtivo de uma cultura é definido como a máxima capacidade de produção de uma planta ou comunidade de plantas, em função da limitação imposta pelo ambiente no qual ela se encontra (EVANS & FISCHER, 1999).

Com o passar do tempo, inúmeras cultivares de trigo estão sendo desenvolvidas e lançadas no mercado, apresentando elevação no seu potencial produtivo, o que exige, conseqüentemente, elevadas doses de adubação, sobretudo de adubações nitrogenadas.

De acordo com a FAO (2018) o trigo é produzido em cerca de 126 países, atingindo uma produção de aproximadamente 759,6 milhões de toneladas na safra de 2017. Segundo dados da CONAB (2017), o trigo é um dos cereais mais cultivado no Brasil, atrás do milho e do arroz, com uma área colhida de 1.919,1 mil ha e uma produção de 4.568,4 mil t na safra de 2017.

Para a manutenção de boas produtividades o trigo é dependente de adubação, incluindo adubações nitrogenadas. Segundo Tisdale et. al (1993), o nitrogênio (N) é um nutriente essencial e o mais importante utilizado pelas plantas, porém, ao mesmo tempo, em relação ao meio ambiente é um dos mais prejudiciais. Isso porque apesar de ser o elemento que as plantas mais necessitam, este nutriente apresenta grande cuidado em sua aplicação devido as diversas reações químicas e biológicas que ocorrem.

O N, principal elemento limitante na produtividade da cultura do trigo, chega ao solo através da decomposição de restos orgânicos (vegetais e animais) e/ou inorgânicos, fixação biológica (simbiótica ou não) e fixação por descargas elétricas (ZAGONEL et al., 2002).

No solo o N pode ser encontrado na forma orgânica ou inorgânica, desta forma exigindo cuidados mais adequados. Segundo Schadchina e Dnitrieva (1995), os índices de clorofila das folhas do trigo, bem como a matéria seca e a produtividade, se correlacionam positivamente com a adubação nitrogenada aplicada.

Em condições adversas, principalmente relacionadas ao teor de matéria orgânica, umidade e textura do solo, época e método de aplicação do fertilizante, o

N é um elemento que se perde facilmente por lixiviação, volatilização e desnitrificação no solo (KLUTHCOUSKI et al., 2006).

Por sua vez, o sensoriamento remoto tem a capacidade de gerar informações durante o desenvolvimento da cultura, que podem ser utilizadas como base para recomendação correta de adubação nitrogenada a ser aplicada, bem como o momento preciso em que as aplicações devem ser realizadas.

Hoje em dia o uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) tornaram-se uma importante ferramenta para o bom gerenciamento das propriedades rurais. Através dos mesmos, é possível gerar diversos bancos de dados, dos quais, após seu processamento em programas computacionais é possível obter diversas informações que facilitam o gerenciamento das propriedades e permitem um superávit nos lucros dos produtores.

Segundo Neto (2016), com as imagens obtidas pelos VANTs ou drones, torna-se possível traçar rotas para a movimentação das máquinas agrícolas reduzindo a compactação do solo e otimizando as operações no campo, observar falhas na implantação das culturas.

Além disso, dentre outras potencialidades, com o processamento destas imagens é possível determinar diversos índices de vegetação, como o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) por exemplo. Estes índices podem gerar dados que informam o estado nutricional das plantas, que pode ser estratificado em diversas classes permitindo a aplicação de defensivos a taxa variada diminuindo os custos do empreendimento e maximizando a produtividade das lavouras.

Dessa forma, aplica-se a correlação entre índices espectrais e o acúmulo de biomassa das culturas a fim de prever a condição nutricional ou seu estágio de desenvolvimento (LIU, 2006).

Diante disso, busca-se neste trabalho avaliar as imagens capturadas por um veículo aéreo não tripulado, determinando após o processamento dos dados a capacidade de este estratificar e atribuir classes para o NDVI, comparando os valores deste com as diferentes doses de N aplicadas a diferentes cultivares de trigo e a produtividade obtida em um experimento instalado no Campus II da URI Erechim.

2 OBJETIVO

Correlacionar os índices de NDVI em parcelas de trigo implantadas na área experimental do campus II da URI Erechim e a relação das classes de NDVI obtidas por fotografia aérea obtida por VANT, de acordo com as doses de N efetuadas.

2.1 Objetivos específicos

- Com uso das fotografias aéreas em diferentes bandas espectrais desenhar as parcelas das unidades amostrais
- Quantificar os índices de NDVI com uso do aplicativo Idrisi Selva para cada uma das parcelas.
- Avaliar a relação entre os índices de NDVI, produtividade e as diferentes as doses de N para as diferentes cultivares implantadas;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A cultura do trigo

De acordo com dados da CONAB (2017), a cultura do trigo, assim como de outros cereais, surgiu há 11 mil anos a.C. Tal cultura refletiu em uma mudança social e ideológica provocando modificações nas relações entre o homem e o meio em que se encontrava.

A partir daí surgiu a necessidade de intensificar a produtividade deste cereal, em decorrência do aumento da população humana e da limitação dos recursos alimentares, iniciando assim a especialização da agricultura (CAUVIN, 1994 apud FLANDRIN & MONTANARI, 1998).

Desde então, é contínuo o trabalho dos pesquisadores para o desenvolvimento de novas cultivares de trigo, preconizando altos potenciais produtivos, resistência a pragas e doenças e a intempéries climáticas que possam ocorrer no período de safra (GROFF et al., 2013).

A produção de trigo na safra 2016 chegou a 6.726,8 mil toneladas do grão, e a importação do cereal chegou a 7.088,5 mil toneladas (CONAB, 2016). Além da importância direta do cultivo de trigo na obtenção de lucro por parte dos produtores e abastecimento dos cerealistas e afins, o cultivo de trigo no inverno contribui consideravelmente para a conservação do solo.

O manejo adequado do trigo pode ser utilizado para o combate de pragas e doenças nas lavouras (através da rotação de cultura) e da cobertura de solo, podendo substituir ou diminuir as aplicações das doses de adubo necessárias para as safras de verão (PIRES, 2017). Segundo Pires (2017), estudos recentes, mostraram que a manutenção da cultura do trigo ainda é a melhor opção, tanto do ponto de vista da produção total de grãos quanto da quantidade de recursos que sobram na propriedade a cada ano.

Ainda segundo Pires (2017), grande parte dos melhoramentos das cultivares visando maiores potenciais produtivos, foram devidos a mudanças nos índices de biomassa total.

Segundo Slafer & Satorre (1994), a maioria dos estudos sobre as bases fisiológicas do melhoramento genético do rendimento de grãos em trigo, indicam que

a biomassa na maturação fisiológica não foi alterada substancialmente ao longo da história dos programas de melhoramento.

A identificação e exploração de genótipos com maior capacidade de produção de biomassa, pode ser um caminho para o futuro progresso no melhoramento genético do rendimento de grãos (AUSTIN et al., 1980).

O N é um dos insumos que tem frequentemente causado problemas de mau uso, devido a variabilidade dos processos de mineralização, lixiviação, desnitrificação e absorção pela cultura (BOIJ et al., 2001).

De acordo com Rissini et al. (2015) o manejo da adubação nitrogenada na cultura do trigo tem-se evidenciado fator limitante à produtividade da cultura na Região Sul do Brasil. Diante disso, percebe-se que o monitoramento do nível de N presente na cultura é uma condição para atingir uma boa precisão na determinação da dose suplementar do fertilizante, e, com isso, atingir o máximo potencial produtivo da cultura.

O melhor estágio para estimar a maior produção possível da cultura do trigo é durante emissão da sexta folha do colmo principal, período no qual também é definido o número de afilhos emitidos pela planta, sendo nesse estágio que ocorre o fechamento das entrelinhas na lavoura. Também neste estágio observa-se o período crucial para aplicação de nitrogênio, justamente por ser nesta etapa que a planta apresenta maiores necessidades deste nutriente, porém avaliações mais tardias conseguem prever o potencial produtivo com mais exatidão (GROSH et al., 2009).

3.2 Agricultura de precisão

Em 2012, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), ao instituir a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão (CBAP), definiu a Agricultura de Precisão como “um sistema de gerenciamento agrícola baseada na variação espacial e temporal da unidade produtiva e visa ao aumento de retorno econômico, à sustentabilidade e à minimização do efeito ao ambiente” (BRASIL, 2012).

A agricultura de precisão (AP) pode ser definida como um conjunto de técnicas e métodos aplicados ao meio agrícola, com o objetivo de aumentar a

produtividade das culturas a serem tratadas e aumentar a qualidade ambiental do meio rural (PIERCE & NOWAK, 1999).

De acordo com um trabalho desenvolvido por Resende et al. (2010), no Brasil a agricultura de precisão teve seu desenvolvimento a partir da segunda metade da década de 1990, com a disseminação dos equipamentos GPS (“Global Positioning System”) e com o crescente desenvolvimento de equipamentos, dispositivos e programas computacionais com foco para a obtenção e processamento de dados georreferenciados.

Com a implementação cada vez maior de tecnologia nos equipamentos utilizados no setor agrícola, a agricultura de precisão vem se disseminando de forma notória, possibilitando a geração de mapas de qualidade física e química do solo, aplicação de doses de adubação e tratamentos com doses variáveis nos talhões das propriedades, geração de mapas de produtividade das culturas, dentre outras potencialidades (MENESES et al., 2012)

O conhecimento da variabilidade das qualidades físicas e químicas do solo e do comportamento das culturas em cada talhão da propriedade em grades georeferenciadas, processo que compreende a agricultura de precisão, traz inúmeros benefícios aos produtores (MOLIN et al., 2015)

Além disso, atualmente é abundante o uso no campo de algumas ferramentas que fazem parte da agricultura de precisão. Como exemplo disso pode-se citar o crescente uso de sistemas de orientação por satélite, como o piloto automático, o qual quando não usado concomitantemente com outras técnicas não traduz o termo agricultura de precisão, porém permite um controle preciso no deslocamento das máquinas, otimizando a frota agrícola, gerando economia de tempo e combustível, evitando o desperdício de defensivos, reduzindo o trânsito de máquinas amenizando a compactação do solo, o que traz inúmeros benefícios no que diz respeito a produtividade e qualidade ambiental do empreendimento (BOIJ, 2001).

3.2.1 Aplicação de insumos a taxas variáveis

O uso de doses variadas de N fundamenta-se na variabilidade espacial do estado nutricional das culturas implantadas na área. Com o emprego desta tecnologia, comumente, as plantas que não estão nutridas de forma adequada recebem um incremento na dose de adubação, enquanto plantas bem nutridas recebem apenas a dose necessária para que o teto produtivo da cultura seja

alcançado, ou seja, a dose variada pode ajustar a dose de fertilizante de acordo com a demanda das plantas (BRAGAGNOLO, 2014).

De acordo com Molin et al. (2015) a agricultura de precisão compreende o processo de aplicação de determinadas doses de forma variada, coerentemente com a demanda de cada pequena porção da lavoura, podendo compreender pequenas glebas de alguns metros quadrados.

Dentre os inúmeros benefícios desta tecnologia, pode-se destacar a economia de insumos, a melhora na qualidade de aplicação, o aumento na produtividade e na qualidade do produto e a diminuição dos impactos ambientais.

A tecnologia de taxas variadas pode ser implantada em diversas etapas do processo produtivo das lavouras, sendo eles, no preparo do solo, nas correções químicas, na semeadura da cultura, nos tratamentos fitossanitários, entre outros (MOLIN et al., 2015), incluindo durante o período vegetativo da cultura (GROSH et al. 2009).

O avanço tecnológico nesta área é crescente nos últimos anos, possibilitando a coleta de dados em tempo real através de sensores e sistemas de orientação embarcados nas máquinas agrícolas ou com o uso de drones para geração de bancos possibilitando a geração de diversos mapas agrícolas (ALONÇO, 2008).

3.3 Sensoriamento remoto

De acordo com Meneses et al. (2012), a técnica de sensoriamento remoto fundamenta-se na obtenção de imagens da superfície terrestre, sem que haja contato direto entre o objeto alvo e o sensor que realiza a captura das imagens.

O sensoriamento remoto teve origem no início de 1960 com o desenvolvimento da área espacial nesses anos (MENESES et al., 2012), desde então é crescente o avanço desta ciência devido e grandes investimentos em pesquisa e desenvolvimento de sensores, equipamentos e programas computacionais.

Contemporaneamente, os sensores que realizam a tomada das imagens possuem resoluções espaciais na casa de centímetros, além de seu espectro ultrapassar centenas de bandas. Isso possibilita diversas aplicações, tais como, levantamentos de falhas em plantios, estimativas do estado nutricional das plantas,

estimativas de colheitas de lavouras, levantamentos ambientais, dentre outras potencialidades (SILVA, 2007).

Tais sensores poder ser ativos, os quais emitem de sua própria fonte a radiação eletromagnética (REM) utilizada para obtenção das imagens, ou passivos, onde a radiação eletromagnética utilizada é advinda de outra fonte, normalmente sensores passivos utilizam a REM proveniente do SOL (VEIGA & SILVA, 2004).

3.3.1 Radiação eletromagnética

De acordo com Venturieri (2007), a radiação eletromagnética equipara-se a uma forma de energia relacionada ao sensoriamento remoto, a qual não necessita de um meio material para se propagar. As ondas eletromagnéticas se diferenciam entre si quanto à frequência e ao comprimento de onda.

O comprimento de onda é a distância em que a onda se repete em dado instante. Por outro lado, a frequência da onda é o número de ondas que passa por um ponto do espaço num determinado tempo, sendo diretamente proporcional à velocidade de propagação da radiação. Como o comprimento de onda é inversamente proporcional a frequência, quanto maior for a frequência, menor será o comprimento de onda resultante (VEIGA, 2004).

De acordo com Meneses et al. (2012), a radiação eletromagnética interage de formas distintas e com intensidades diferentes com os objetos terrestres de acordo com cada comprimento de onda, sendo assim, um dos parâmetros mais importantes para definir as características de um sensor são as bandas espectrais que o mesmo possui.

3.3.2 Índices espectrais

Os índices espectrais são amplamente difundidos pela sua simplicidade conceitual e eficiência em suas operações. Tais índices utilizam as informações de refletância da superfície de determinadas bandas do espectro eletromagnético, envolvendo, comumente, faixas próximas ao infravermelho próximo, pela alta refletância da vegetação nessa parte do espectro. Enquanto a maior parte dos índices utiliza apenas uma imagem, há também índices bi temporais que utilizam duas imagens, uma anterior e uma posterior à ocorrência do evento (SCHEPERS et al., 2014).

O conhecimento do comportamento espectral da vegetação propiciou o desenvolvimento de sensores remotos adaptados para a adubação nitrogenada em taxa variável. A vantagem na aplicação desses instrumentos é a rapidez na obtenção dos dados a campo, sem destruição da vegetação e em tempo real (DE BOER, 2004).

3.3.3 Espectro eletromagnético

O espectro eletromagnético é o intervalo completo de todas as possíveis frequências da radiação eletromagnética, ou seja, é a classificação e organização dos diferentes comprimentos de ondas existentes.

Segundo Meneses et al. (2012) o espectro eletromagnético compreende as regiões espectrais da REM conhecidas pelo homem, se estendendo dos comprimentos de onda dos raios cósmicos aos comprimentos de corrente alternada emitidos pelas redes de alta tensão, ou seja, a faixa de comprimento de onda da REM é praticamente ilimitada.

3.3.4 Índice de vegetação por diferença normalizada - NDVI

De acordo com Duft (2014), o primeiro estudo científico utilizando NDVI foi realizado em 1973, logo após o lançamento do satélite LANDSAT 1, no entanto a caracterização do índice foi feita em uma série de estudos de Compton Tucker da NASA.

Com a utilização das técnicas de NDVI, é possível determinar mapas com estimativas de produtividades, ataques de pragas e doenças, falhas nas operações realizadas durante a safra, doses de adubações recomendadas, etc. (RISSINI et al., 2015).

Moreira (2005) afirma que os dados de refletância dos alvos podem ser transformados em índices de vegetação, os quais foram criados com o intuito de ressaltar o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e a outros alvos da superfície terrestre, sendo que um dos índices mais utilizados é o NDVI.

Índices de NDVI, adquiridos através da banda infravermelho próximo e vermelho, e coletados durante o desenvolvimento da cultura, de acordo com a refletância de ondas eletromagnéticas, podem ser utilizados como parâmetro

indiretos do estado nutricional das plantas, assim como seu do potencial produtivo (SERRANO et al., 2000).

O NDVI possui alta potencialidade no que diz respeito a caracterização de variabilidades ecológicas e ambientais, como por exemplo a disponibilidade hídrica e de nutrientes no solo, e a presença de pragas agrícolas (LIU, 2006).

Utilizando dados de sensores remotos Rahman et al. (2000) propuseram a integração do índice de vegetação por diferença normalizada, ou NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). ROUSE et al. (1973) propuseram que o NDVI representa o vigor da vegetação fotossinteticamente ativa, durante o sequestro de carbono.

3.4 Geoprocessamento

De fora simplória, o geoprocessamento pode ser compreendido como um mecanismo de coleta, exibição e tratamento de informações em um determinado espaço (RODRIGUES, 1990), isso permite uma vasta análise de diversos fatores através dos dados adquiridos.

Segundo TEIXEIRA et al. (1997), o geoprocessamento é uma tecnologia que embarca os procedimentos de coleta de dados espacialmente referenciados, sua manipulação, armazenamento e análise.

O termo geoprocessamento engloba em suas raízes diversas áreas de estudo, como por exemplo, geografia, cartografia, processamento de dados, levantamentos a campo, geodesia, estatística, dentre outros.

Silva et al. (1998) definem geoprocessamento como um conjunto de procedimentos computacionais, que opera sobre dados codificados, executando análises, remodelando esses dados tornando-os utilizáveis em um sistema de processamento automático integrado ao banco de dados.

O geoprocessamento representa o processamento de dados georreferenciados, envolvendo técnicas e conceitos de cartografia, sensoriamento remoto, e Sistema de Informações Geográficas (SIG) (SILVA, 2003), por meio de seu relacionamento com o espaço (VEIGA & SILVA, 2004).

3.4.1 Banco de Dados Geográficos

Um banco de dados geográfico é compreendido como um conjunto de informações armazenadas, georeferenciadas espacialmente, que serve como base para análise de fenômenos de uma determinada realidade (BARRERA et al., 1991). Os bancos de dados geográficos possibilitam a armazenagem de muitos dados, seja de imagens ou de vetores.

Os bancos de dados podem estar sob o controle de programas desenvolvidos especialmente para o armazenamento, recuperação e otimização dos dados, chamados Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados (SGDB) (SILBERSCHATZ, 2012).

Além disso, a grande maioria dos programas computacionais que realizam o processamento de imagens e afins no sensoriamento remoto, permitem a importação direta de bancos de dados, facilitando seu uso e otimizando o tempo para a obtenção dos resultados (SETZER, 1989).

3.5 Veículos Aéreos Não Tripulados – VANT's

Os VANT's tornaram-se uma ferramenta importante na agricultura de precisão, a partir dos quais é possível obter imagens com alta precisão e definição, cobrindo grandes áreas em curto espaço de tempo. A aplicação desta tecnologia no meio rural auxilia o produtor nas tomadas de decisões, aumentando a eficiência no gerenciamento da agricultura, maximizando a rentabilidade da propriedade e tornando o agronegócio mais competitivo (ALONÇO et al. 2005).

Além disso, já é grande a tecnologia embarcada, podendo, a partir dos drones, gerar diversos modelos de mapas, como por exemplo, mapa de índice de biomassa e índices de vegetação, a partir do qual pode-se estimar a necessidade de adubação da área analisada, dentre outras potencialidades (RESENDE, 2014).

Segundo Groff et al. (2013), “sensores de espectrometria ótica em nível terrestre vêm sendo utilizados para estabelecer relações entre as respostas espectrais e parâmetros de crescimento da cultura”. Segundo Moreira (2003), as imagens aéreas obtidas por meio de VANT podem ser utilizadas no mapeamento de culturas, na avaliação de áreas cultivadas, na detecção de áreas afetadas, em cadastros rurais e no mapeamento de solo.

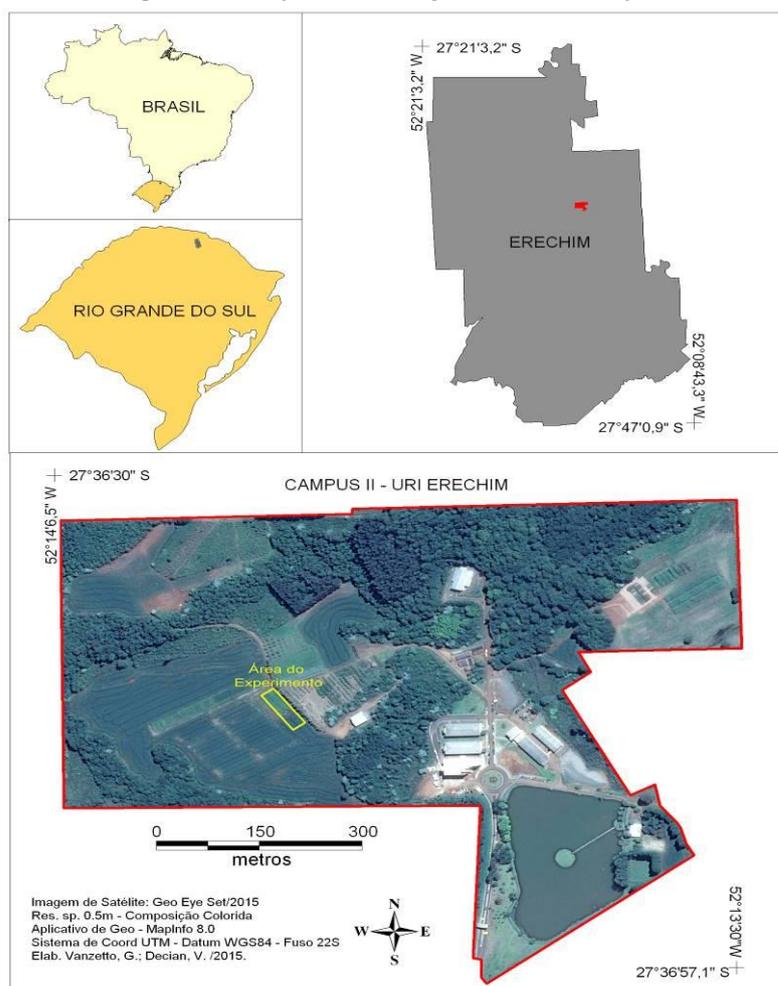
4.0 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

A área de estudo constitui-se de um imóvel, localizado no município de Erechim, região Norte do estado do Rio Grande do Sul. O imóvel situa-se entre as coordenadas ($27^{\circ}36'30''\text{S}$ a $52^{\circ}14'6.5''\text{W}$) e ($27^{\circ}36'57.1''\text{S}$ a $52^{\circ}13'30''\text{W}$) com uma área de 49,67 hectares, representando 2,48 módulos fiscais. O imóvel apresenta um misto de características de uso e cobertura da terra por se tratar de um campus universitário (Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus de Erechim).

Possui áreas de experimentação agrícola, fruticultura, silvicultura, áreas de infraestrutura, construções e fragmentos remanescentes de vegetação nativa (figura 1).

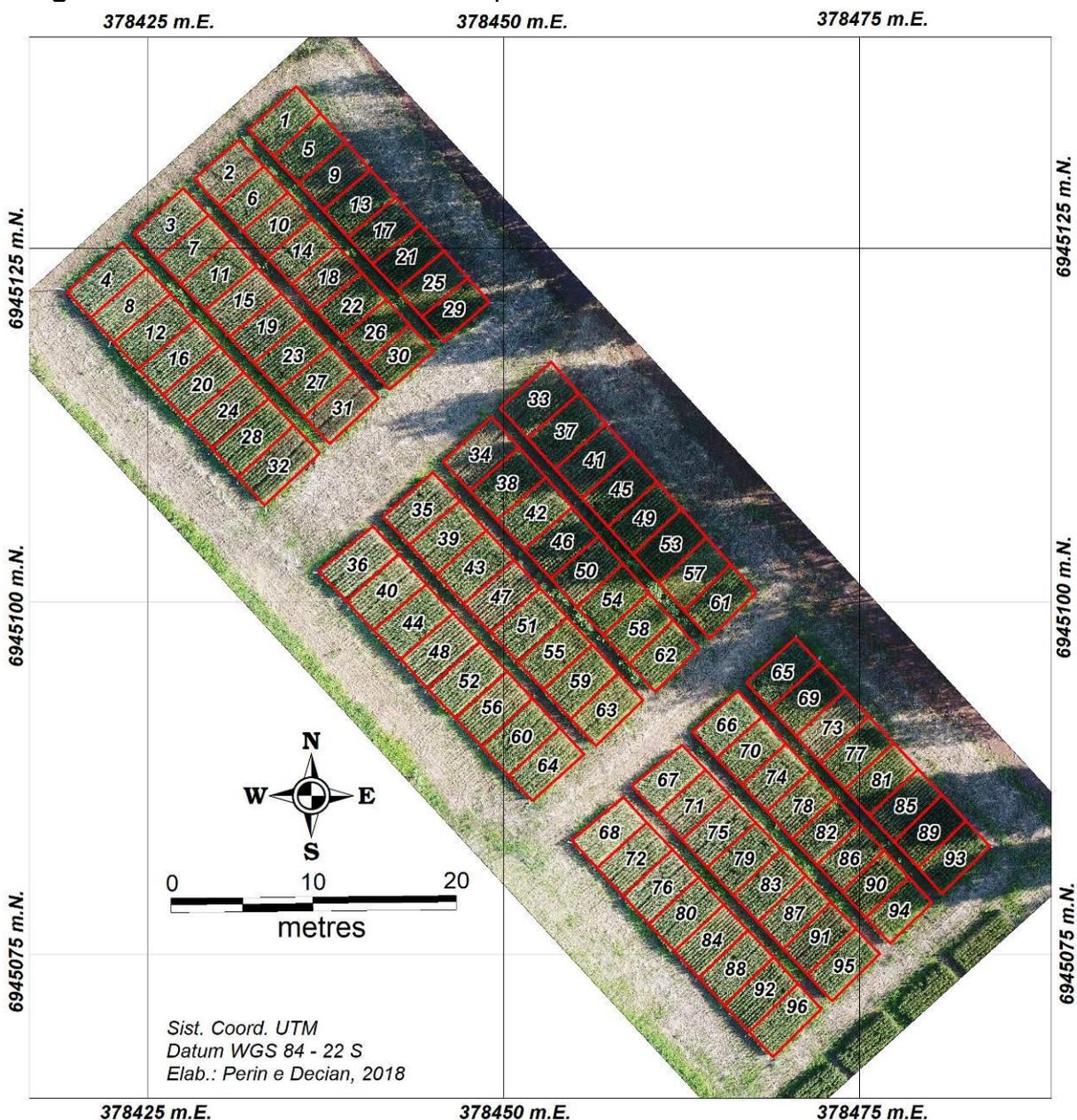
Figura 1 - Localização do Experimento junto ao Campus II – URI Erechim.



4.2 Desenho amostral e descrição do experimento

O presente experimento constitui-se de noventa e seis parcelas de trigo de 2,5 m x 5 m (Figura 2), representando uma área de 12,5 m² por parcela, contendo no total oito variedades diferentes de trigo. As variedades utilizadas foram: Energia; Sinuelo; Sossego; Iguaçu; Sintonia; Toruk; Audaz e Sonic, distribuídas de forma casualizadas.

Figura 2 - Desenho amostral das 96 parcelas distribuídas em 3 blocos amostrais.



A semeadura da cultura foi realizada no dia 27/06/2018. O espaçamento entrelinhas foi de 22,5 centímetros e a dose de semente utilizadas foi de 120 kg ha^{-1} . A fórmula da adubação utilizada da linha de semeadura foi a 5-20-20 (NPK), na dose de 250 kg ha^{-1} . Em cada faixa contendo as variedades foram aplicados 4 doses de ureia diferentes (Figura 3), sendo eles: 0 kg ha^{-1} de ureia; 150 kg ha^{-1} de ureia; 200 kg ha^{-1} de ureia; e 250 kg ha^{-1} de ureia. A ureia utilizada para adubação suplementar no experimento possui 45 % de nitrogênio e foi distribuída em uma aplicação durante o perfilhamento da cultura, totalizando a dose final em cobertura de 0 kg ha^{-1} , $67,5 \text{ kg ha}^{-1}$, 90 kg ha^{-1} e $112,5 \text{ kg ha}^{-1}$.

A escolha destas doses de N foi estabelecida para a formação de um potencial de disponibilidade de N crescente para a cultura do trigo, enquadrando assim a dose de referência de 90 kg ha^{-1} baseada na recomendação da CQFFS – RS/SC (2016), baseada na cultura antecessora (soja), no teor de MO (Tabela 1) e na expectativa de produtividade de 5400 kg ha^{-1} (90 sacos ha^{-1}).

Figura 3 - Desenho amostral das variedades e da dose de N ha^{-1} aplicadas nas parcelas.

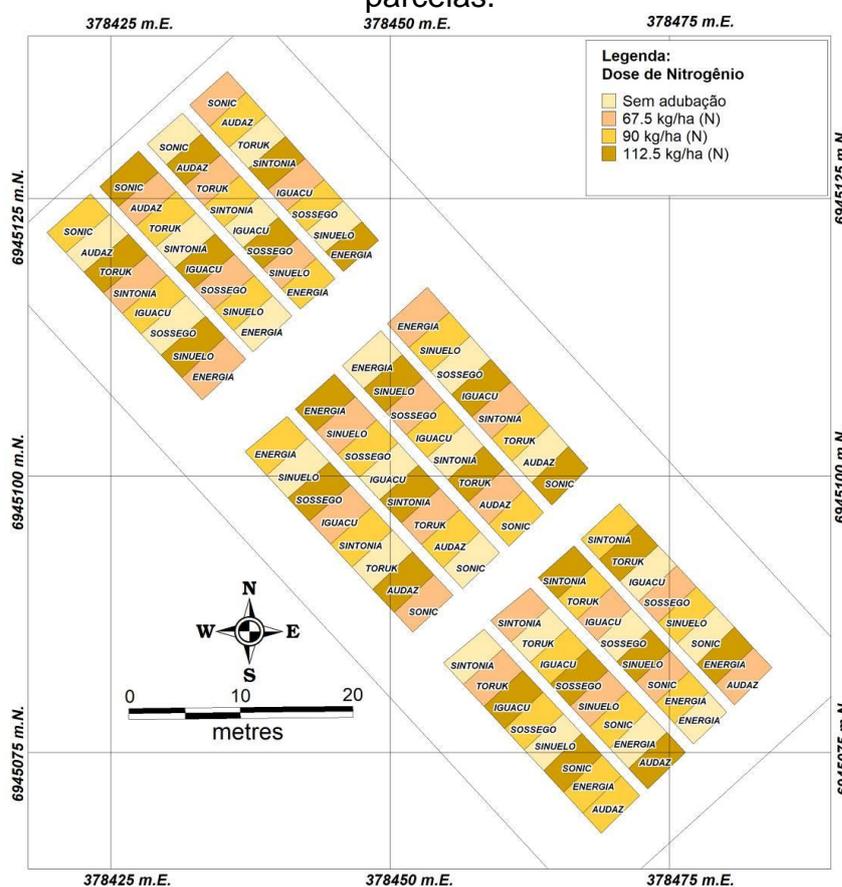


Tabela 1. Resultado da análise de fertilidade do solo, antes da implantação do experimento em um Latossolo Vermelho distrófico.

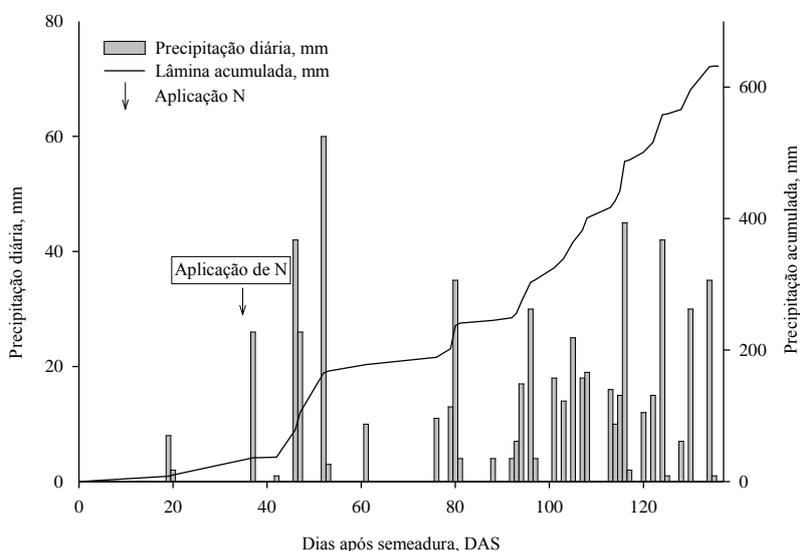
Argila	pH ¹	SMP ²	MOS ³	P ⁴	K ⁴	Ca ⁵	Mg ⁵	Al ⁵	H+Al
%	1:1		m/v %	mg dm ⁻³		----- cmol _c dm ⁻³ -----			
59,0	5,9	6,1	3,2	6,6	247	8,0	3,8	0,0	3,9

¹pH em Água, ²Índice SMP, ³Matéria Orgânica do Solo, ⁴Fósforo e Potássio (Mehlich-I), ⁵Cálcio, Magnésio e Alumínio trocáveis (KCl 1M).

Durante os 137 dias de desenvolvimento da cultura houve uma precipitação acumulada de 632 mm (figura 4), com precipitações distribuídas ao longo do período, apresentando déficit hídrico no início do desenvolvimento da cultura, e precipitações de elevado volume logo após a aplicação do fertilizante nitrogenado.

Os demais tratos culturais foram realizados conforme a necessidade, de forma semelhante as adotadas pelos demais produtores rurais da região.

Figura 4 - Gráfico da precipitação diária e acumulada durante o ciclo de cultivo do trigo na safra 2017.



4.3 Obtenção das fotografias aéreas

O modelo do drone utilizado para a tomada das fotos foi o Phantom 3. As fotografias coloridas coletadas em formato RGB e nas bandas do infravermelho e

vermelho. O Phantom 3 pode sobrevoar a velocidade máxima de 57 km h^{-1} (16 m s^{-1}) e atingir uma altitude de 6 mil metros acima do nível do mar.

A altitude de voo do equipamento foi de 200 metros e a resolução espacial final do modelo após a georreferencia do mosaico fotográfico foi de 2,5 centímetros, com a tomada das fotografias aéreas, as mesmas foram submetidas a mosaicagem automática em programa que acompanha o drone Phantom 3, que gera via aplicativo o mosaico em RGB e a imagem do NDVI, próximas ao estágio de espigamento.

A tomada das fotos, para posterior tratamento das imagens ocorreu no dia 09/09/2018, época em que o trigo apresentava a maior quantidade de biomassa verde para sensibilização do sensor utilizado a bordo do Drone Phantom 3, com base nas bandas do Vermelho e Infravermelho.

A colheita ocorreu no dia 12/11/2018, coletando-se as plantas em dois metros lineares das quatro linhas centrais das parcelas, gerando uma área colhida de $1,8 \text{ m}^2$. Após a retirada do material do campo, houve a debulha e a limpeza manual do trigo, pesou-se a produção de trigo e determinou-se o PH da cultura com medidor de PH automático de umidade GAC 2100, e corrigiu-se a umidade para 13% e determinou-se a produtividade.

Com as fotos capturadas gerou-se o mosaico de ortofotos, que nada mais é que junção de diversas fotos capturadas e georreferenciadas onde elimina-se deslocamentos e inclinações devido ao relevo e a inclinação corrigindo-se distorções de relevo.

O mosaico em formato RGB e infravermelho/vermelho foi submetido a importação em formato .geotiff/tfw, que traz embutido arquivo contendo o sistema de coordenadas, permitindo a importação dos mesmos já em sistema de coordenadas oriundo do aplicativo do Phantom 3 que processa as imagens digitais. O mesmo foi reamostrado por importação para o sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) 22 Sul e o datum WGS84.

4.4 Digitalização das Unidades amostrais e estruturação do banco de dados em aplicativo SIG

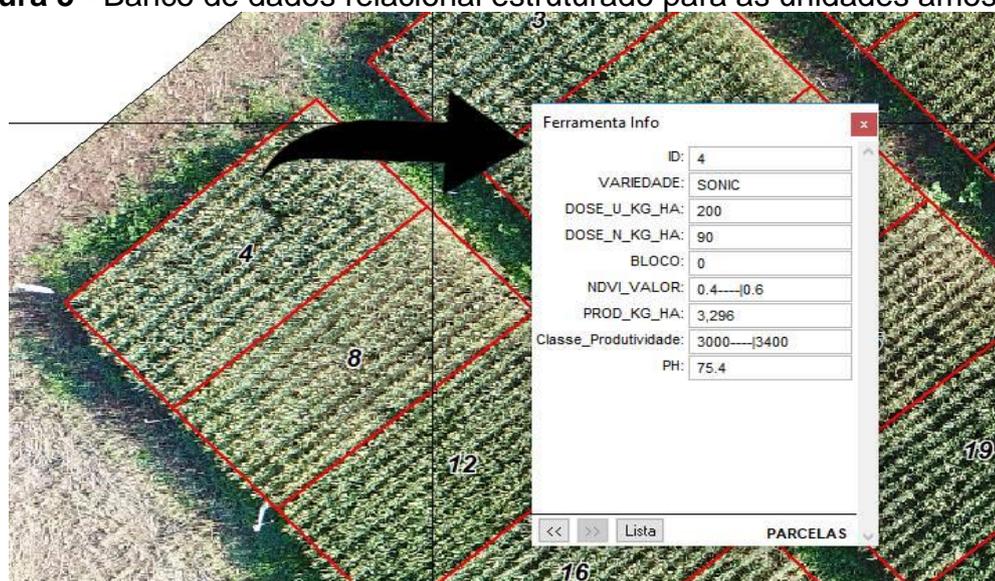
A digitalização dos dados das parcelas realizou-se em uma planilha Excel, onde gerou-se o banco de dados informando o número da parcela, a variedade da

parcela, a dose de ureia aplicada, a dose de N, o bloco a qual pertence e a produtividade.

Após a digitalização do arquivo em Excel, importou-se o banco de dados para o aplicativo MapInfo, no qual foi possível confrontar os dados das 96 parcelas na forma de consulta de banco de dados relacional (consultas automáticas) (Figura 5).

O banco de dados estruturado em .xls (Excel), conteve o código ID da parcela, a dose de ureia, a dose de N, o índice de NDVI e a respectiva produtividade de cada parcela, e posteriormente importado para o sistema de informação geográfica (SIG) no programa MapInfo com a possibilidade de geração dos mapas temáticos da área.

Figura 5 - Banco de dados relacional estruturado para as unidades amostrais.



4.5 Obtenção dos dados de produtividade

Os dados de produtividade foram obtidos através da colheita manual de 2 metros das 4 fileiras centrais das parcelas, gerando uma área colhida de 1,8 m².

Após a retirada do trigo do campo ocorreu a debulha e a limpeza manual, a pesagem do produto colhido, a determinação do PH do trigo, a correção da umidade do mesmo para 13% e a determinação da produtividade da cultura kg ha⁻¹.

4.6 Obtenção dos índices espectrais de NDVI para as unidades amostrais

Utilizando-se o software IDRISI, foi gerado os (a) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI (ROUSE et al., 1973). Este índice espectral foi obtido com o uso da equação:

$$\text{NDVI} = (R4 - R3) / (R4 + R3)$$

Onde: R4 e R3 são as reflectâncias no infravermelho próximo e no vermelho. O índice NDVI é caracterizado por apresentar um intervalo variando de -1 a +1, sendo que os valores mais elevados (positivos) estão relacionados às áreas com maiores quantidades de vegetação fotossinteticamente ativa, enquanto os menos elevados (negativos) representam as áreas com menor índice de vegetação. Os pontos de saturação manifestam-se nas faixas espectrais do vermelho (0,63 – 0,69 μm) e do infravermelho próximo (0,76 - 0,90 μm).

Os índices NDVI podem ser correlacionados com as taxas fotossintéticas. Isso é explicado pelo fato de que, quanto maior for a atividade fotossintética, maiores serão as feições de absorção nas faixas do vermelho (BAPTISTA, 2004).

Para a categorização do NDVI foram determinadas 5 classes em um intervalo variando de -1 a +1. Valores (negativos) representam as áreas Não Fotossinteticamente Ativas (NFA), enquanto os valores (positivos) estão relacionados às áreas com maiores quantidades de biomassa Fotossinteticamente Ativa (VFA). Assim, foram categorizadas as seguintes classes (-1 ---| 0; -para as áreas NFA e 0 ---| 0,2; 0,2 ---| 0,4; 0,4 ---| 0,6; 0,6 ---| 0,7) para as áreas de VFA.

Classe 1: -0.4 ----|0 (NFA)

Classe 2: 0.0 ----|0.2 (VFA)

Classe 2: 0.2 ----|0.4 (VFA)

Classe 3: 0.4 ----|0.6 (VFA)

Classe 4: 0.6 ----|0.7 (VFA)

4.7 Análise dos dados

Os dados de produtividade e NDVI foram medidos em campo e laboratório, tabulados em planilhas eletrônicas, submetidos a conferência quanto normalidade e posteriormente submetidos a análise estatística.

Para avaliar as diferenças entre os tratamentos de adubação e a produtividade e NDVI, foi realizado um teste estatístico uma ANOVA one-way,

seguida de Teste de Tukey ($p < 0,005$). Os dados que não obtiveram a normalidade foram normalizados por meio de transformação logarítmica ($[\log+1]$).

Para verificar a relação entre a adubação e o NDVI foi utilizado a correlação linear de Pearson. As análises foram realizadas no ambiente estatístico R (R CORE TEAM, 2013) usando funções do pacote “vegan” (OKSANEN et al., 2013).

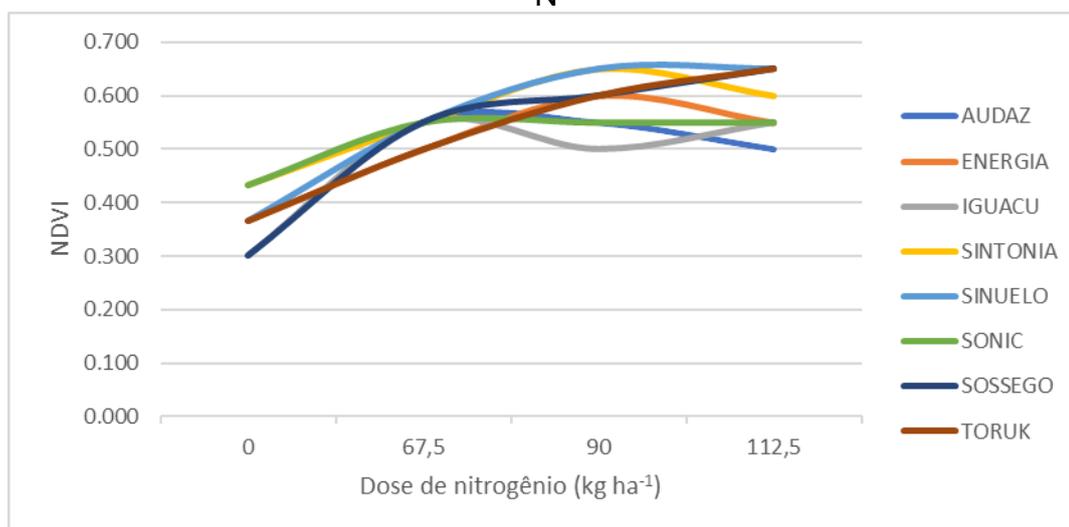
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Dados de NDVI obtidos e relação com a adubação

Através dos dados de NDVI obtidos e pela dose de adubação aplicada a cada parcela, gerou-se a figura 6, a qual demonstra o NDVI médio obtido da área central das parcelas de cada cultivar para cada um dos tratamentos.

Os comportamentos espectrais das variedades de trigo foram semelhantes, iniciando em NDVI 0,300 e aumentando conforme o aumento da dose de N, ficando o maior NDVI observado abaixo de 0,700 (Figura 6).

Figura 6 - NDVI obtido para as oito variedades testadas de acordo com as doses de N



As figuras 7 a 14, apresenta o NDVI médio da área central de cada parcela, a variância e o coeficiente de terminação de cada variedade de trigo implantada, abrangendo os quatro tratamentos e as oito variedades com suas repetições.

Figura 7 - NDVI obtido para a variedade Audaz de acordo com a dose de N

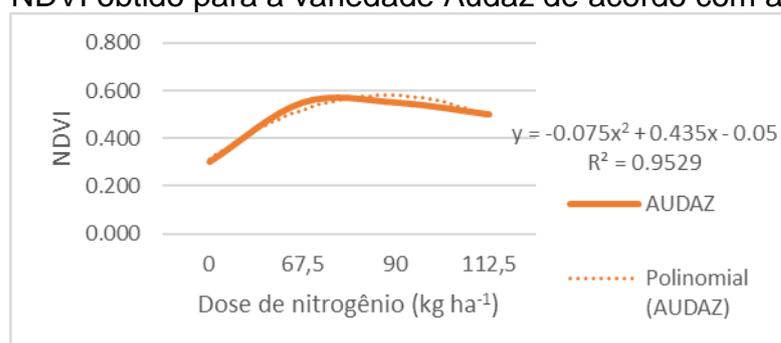


Figura 8 - NDVI obtido para a variedade Energia de acordo com a dose de N

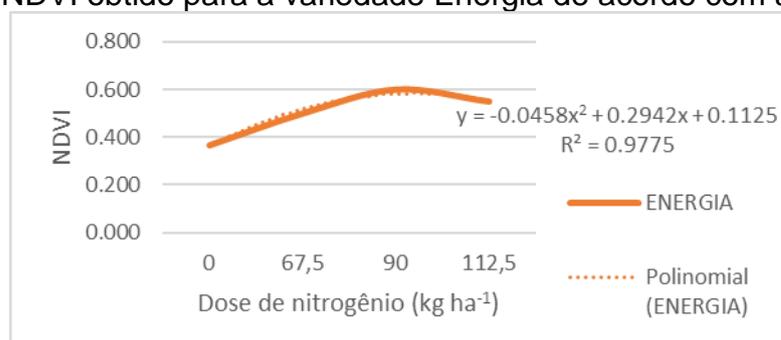


Figura 9 - NDVI obtido para a variedade Iguazu de acordo com a dose de N

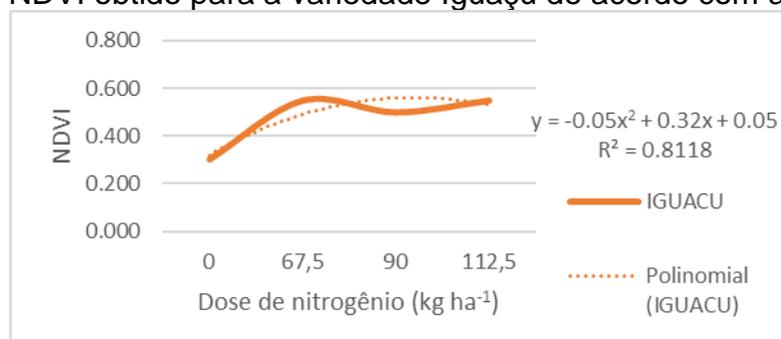


Figura 10 - NDVI obtido para a variedade Sintonia de acordo com a dose de N

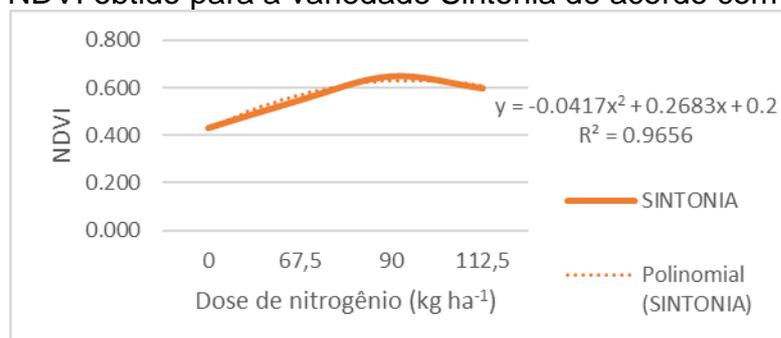


Figura 11 - NDVI obtido para a variedade Sinuelo de acordo com a dose de N

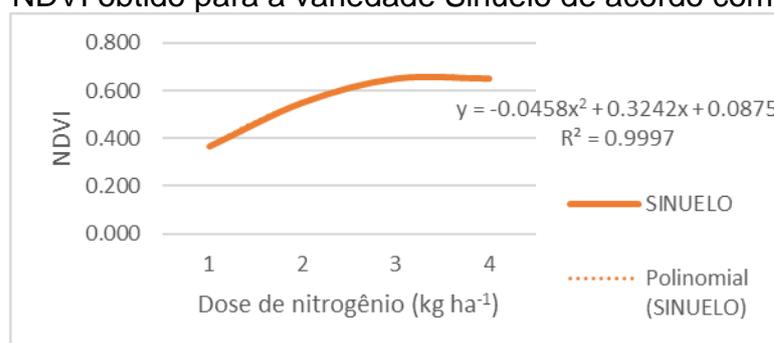


Figura 12 - NDVI obtido para a variedade Sonic de acordo com a dose de N

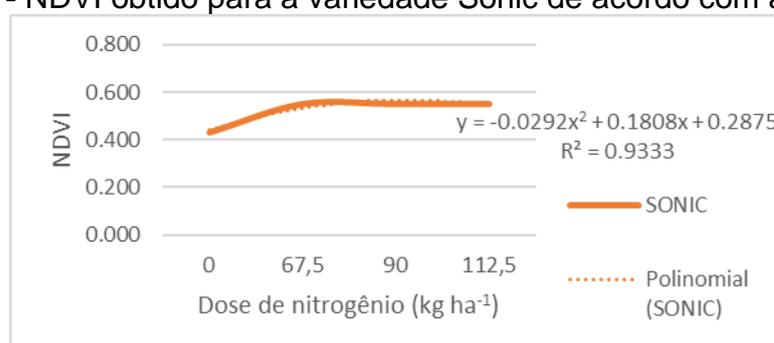


Figura 13 - NDVI obtido para a variedade Sossego de acordo com a dose de N

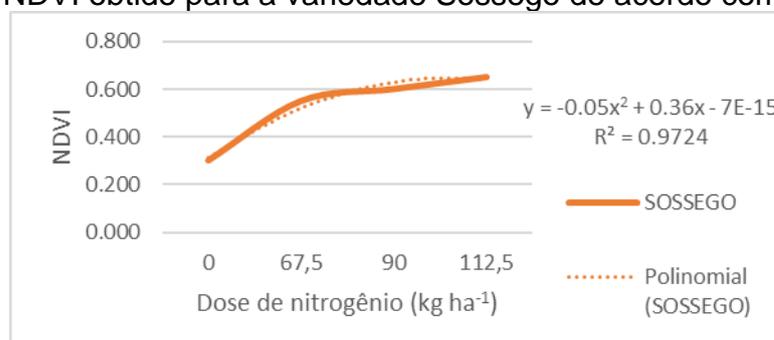
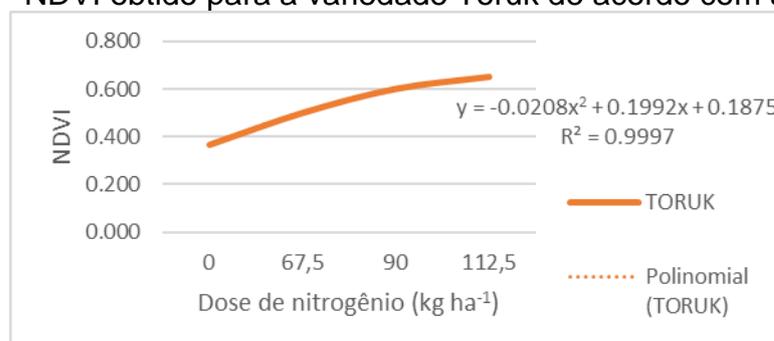
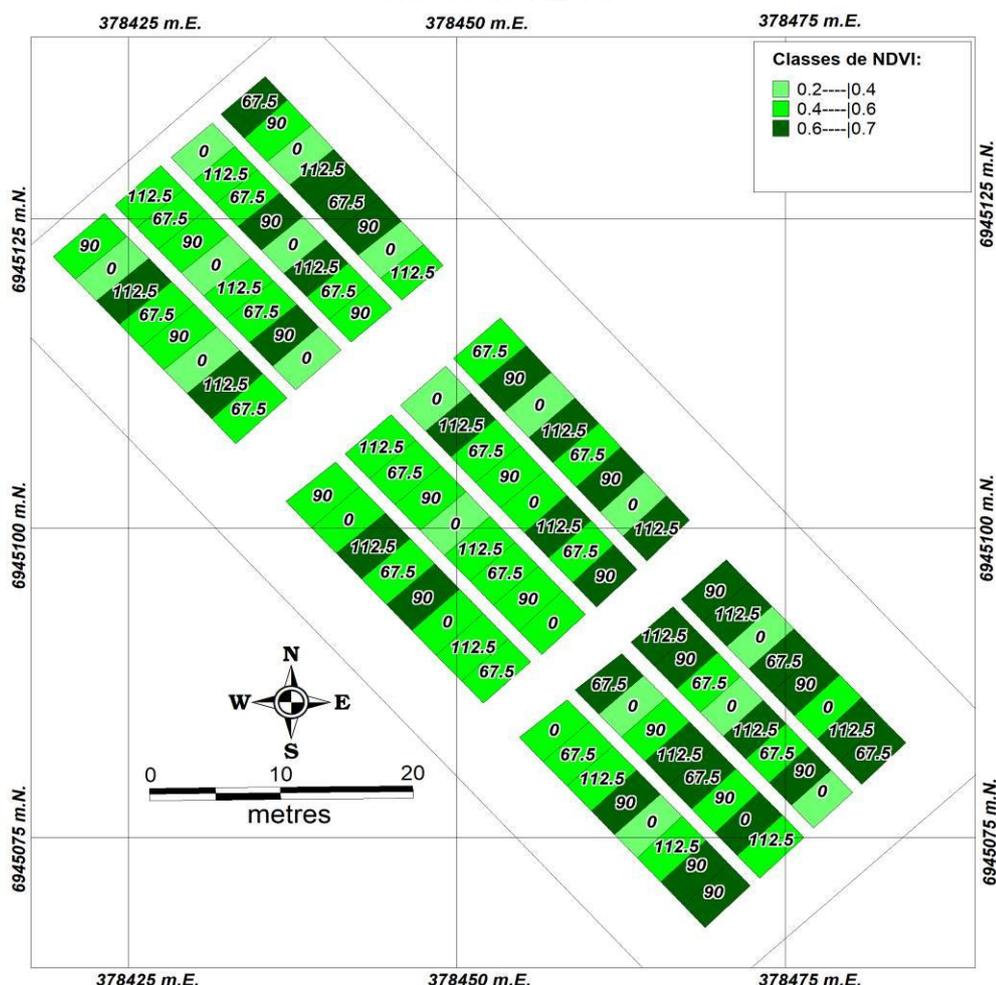


Figura 14 - NDVI obtido para a variedade Toruk de acordo com a dose de N



Através do programa MapInfo gerou-se o mapa temático abaixo apresentando o NDVI obtido e a adubação imposta às parcelas (figura 15).

Figura 15 - Desenho amostral das parcelas com a respectiva dose de Nitrogênio e a classe do NDVI.



Para a análise da relação entre o índice de NDVI obtido e a adubação aplicada utilizou-se a correlação linear de Pearson, o qual mensura a correlação linear entre duas variáveis. O coeficiente de Person é um índice adimensional, admitindo -1 para correlações negativas perfeitas e 1 para correlações perfeitas positivas (Fonseca, 1980).

As análises foram realizadas no software estatístico R (R CORE TEAM, 2013), obtendo o valor de 0,755 indicando forte correlação entre os dados de NDVI e adubação nitrogenada (N).

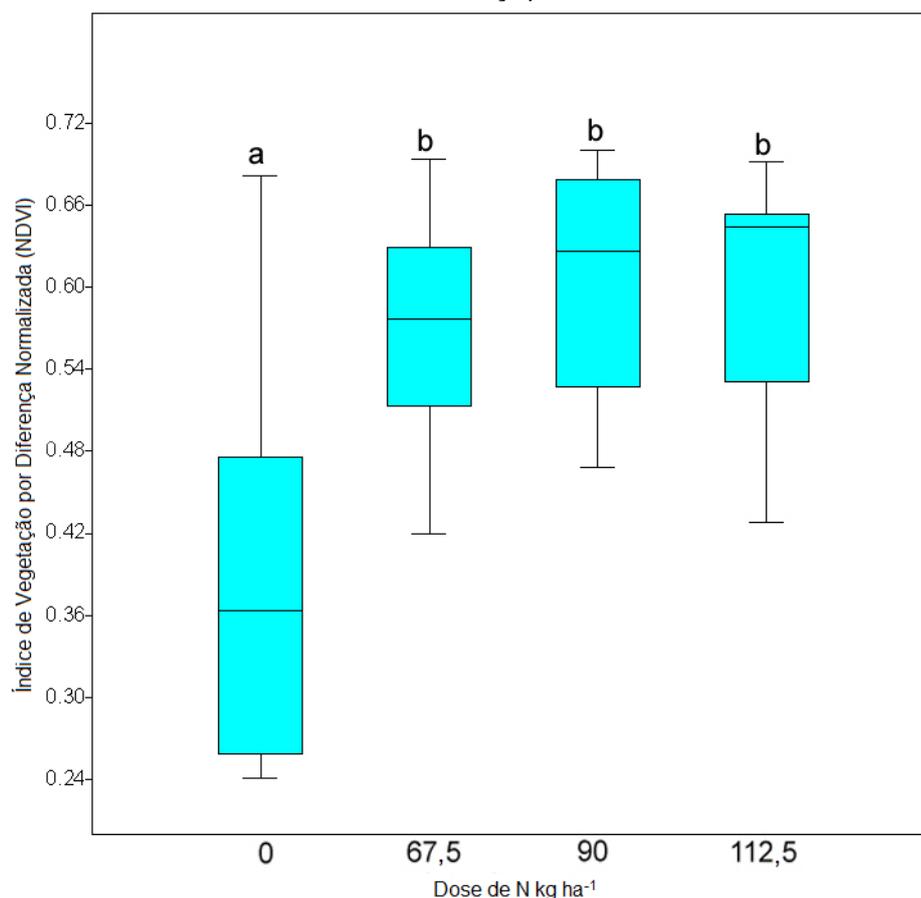
Com a aplicação de doses de adubação nitrogenada ocorre um aumento na concentração de clorofila nas folhas das culturas, resultando em aumento da

biomassa e por consequência da atividade fotossintética (SERRANO et al., 2000), permitindo a aplicação de correlações entre índices espectrais, como o NDVI por exemplo, e o acúmulo de biomassa das culturas a fim de prever a condição nutricional ou seu estágio de desenvolvimento (LIU, 2006).

De acordo com Calderini et al. (1997) o aumento da produtividade de trigo pode ser alcançado através do aumento na produção de biomassa.

Observou-se com o teste estatístico de significância (Teste t), com aplicação de Teste de Tukey a posteriori que houve diferença significativa ($p < 0,05$) apenas para o tratamento testemunha (sem adubação) em relação aos demais tratamentos relativos a adubação nitrogenada. Para as doses de N $67,5 \text{ kg ha}^{-1}$ 90 kg ha^{-1} e $112,5 \text{ kg ha}^{-1}$, não houve diferença significativa, o que pode ser observado no boxplot a seguir (Figura 16).

Figura 16 - BoxPlot da relação dose de N e NDVI (Letras diferentes caracterizam diferença).

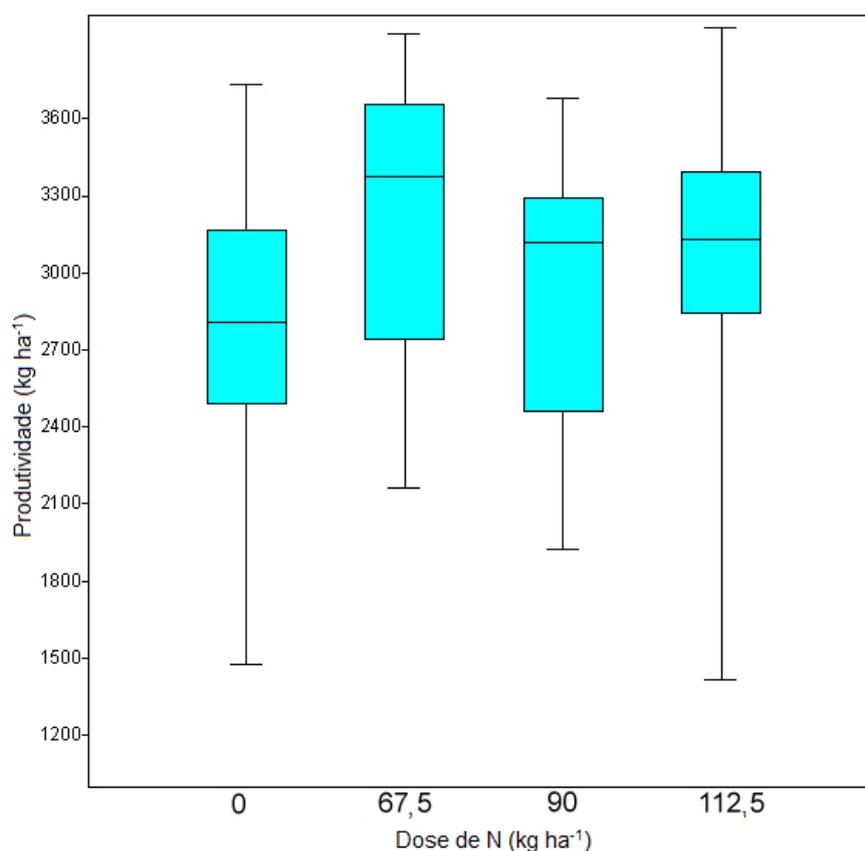


5.2 Dados de NDVI e relação com a produtividade

A análise de correlação de Person entre dados de NDVI e de produtividade foi de -0.0065232, representando uma relação muito baixa entre os valores obtidos de produtividade e as classes de NDVI.

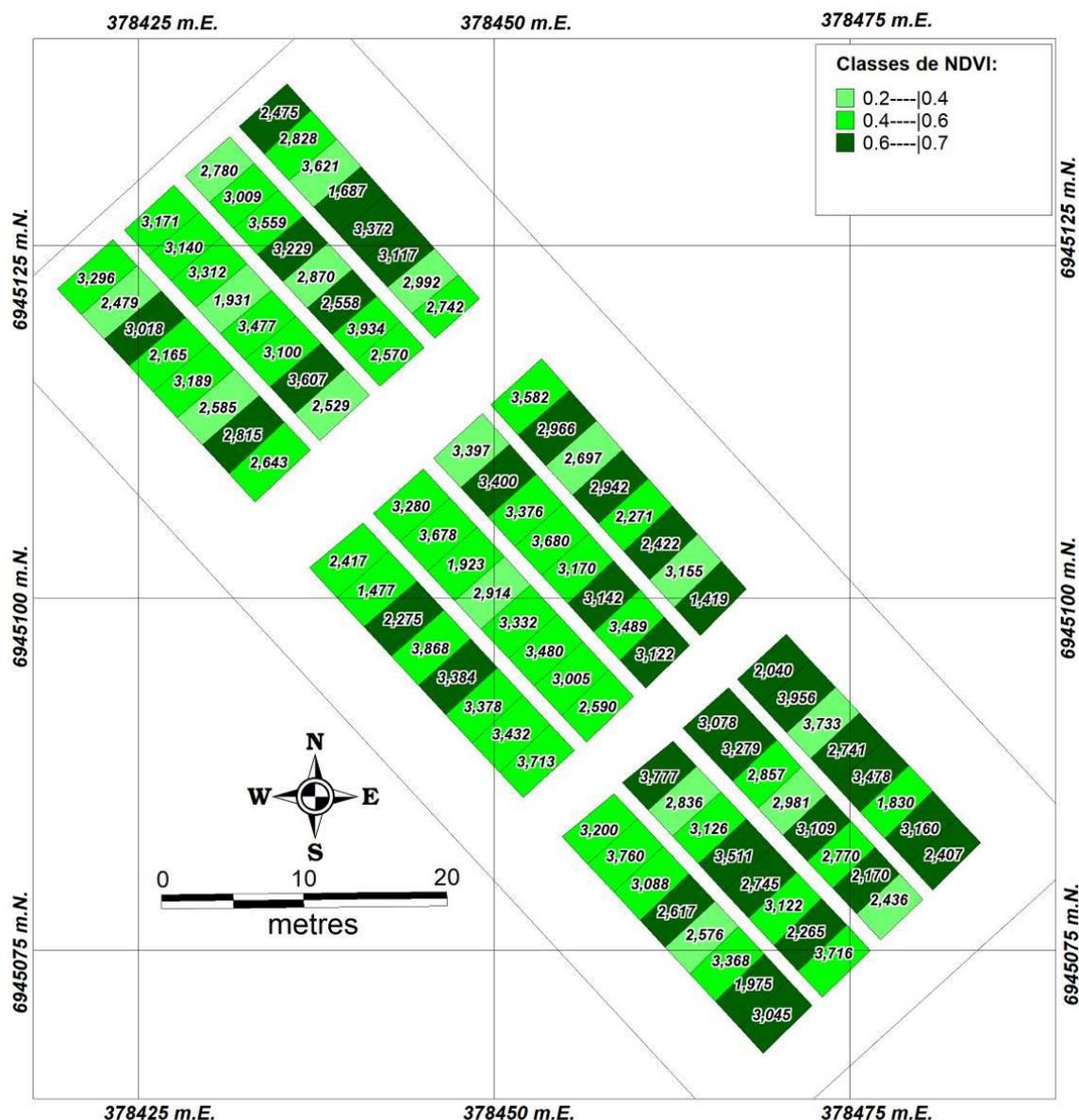
Ao se avaliar estatisticamente a relação da adubação nitrogenada (Doses de N em kg ha^{-1}) e a produtividade obtida, observou-se que estatisticamente não houve diferenças significativas entre os tratamentos conforme pode ser observado na figura 17.

Figura 17 - BoxPlot da relação dose de N e Produtividade



Através do banco de dados gerado no programa MapInfo, gerou-se o mapa temático apresentando o NDVI de cada parcela e a produção da mesma (figura 18).

Figura 18 - Desenho amostral das parcelas com a respectiva produção obtida ($t\ ha^{-1}$) e a classe do NDVI obtido



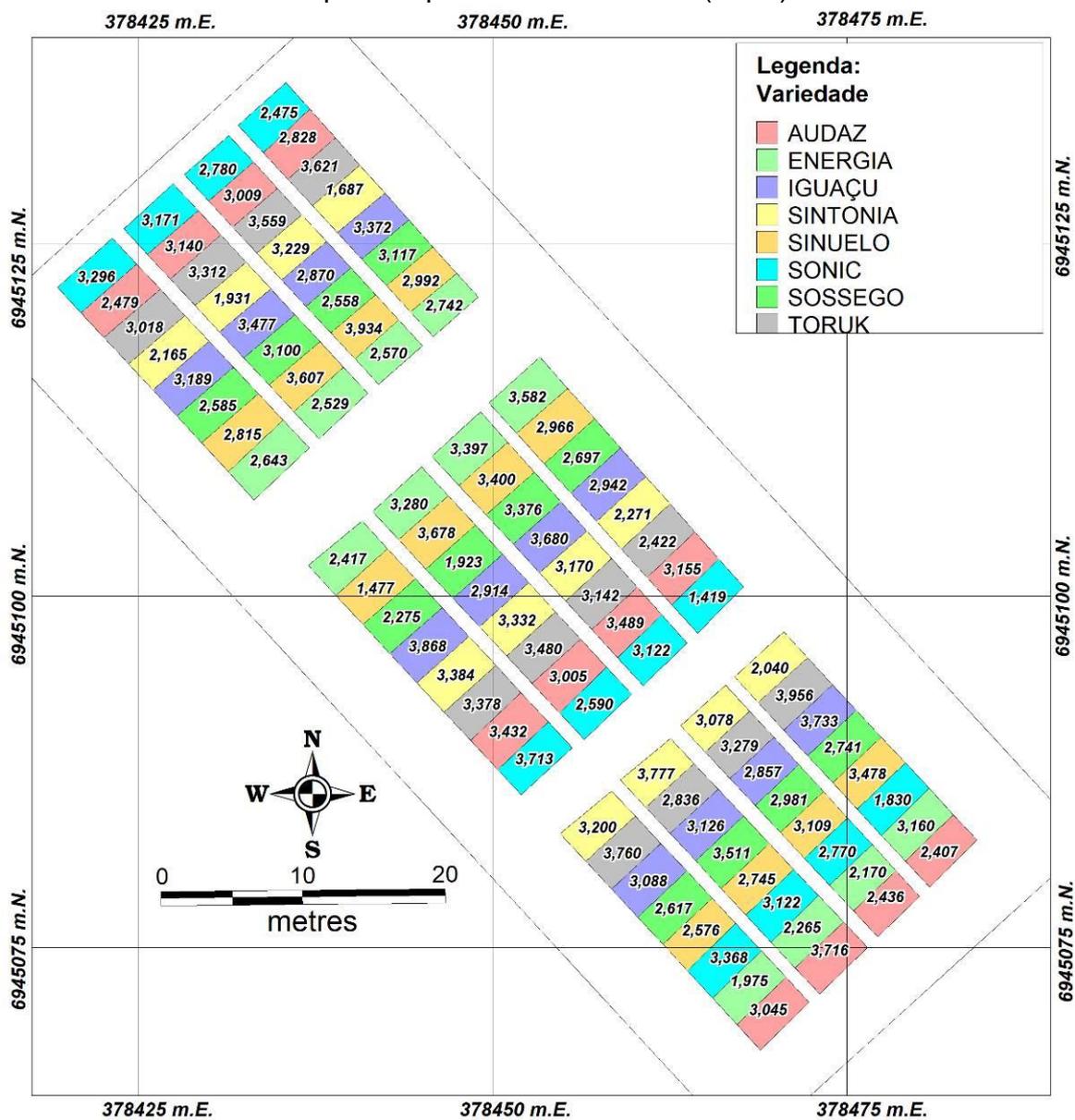
5.3 Dados de produtividade e relação com adubação

Através do banco de dados no programa MapInfo, obteve-se a figura 19, apresentando os dados da produtividade obtidos com a colheita manual das parcelas, contendo os quatro tratamentos e as oito variedades com suas repetições.

A análise de correlação de Person entre dados de adubação e de produtividade foi de 0,16043, representando uma relação muito baixa entre os valores obtidos, da mesma forma influencia os resultados da correlação de NDVI e

produtividade. Estando correlacionados com as baixas produtividades obtidas pela influência climática.

Figura 19 - Desenho amostral das parcelas com as variedades implantadas e sua respectiva produtividade obtida ($t\ ha^{-1}$).



6 CONCLUSÕES

Através do modelo proposto observou-se correlação relativamente alta ao se comparar o NDVI com a adubação nitrogenada imposta para cada parcela.

O dos softwares MapInfo e Idrisi Selva mostraram-se eficazes para realizar os desenhos amostrais e para a determinação dos NDVI, respectivamente.

O uso de imagens espectrais, advindas de VANT ou de outros meios, podem servir como base para a determinação da dose de adubação nitrogenada a taxa variada, e para o acompanhamento do desenvolvimento da biomassa da cultura do trigo a qual, segundo diversos pesquisadores, infere diretamente no potencial produtivo da cultura.

O NDVI não se correlacionou com a produtividade de trigo obtida devido a baixa produtividade alcançada no ano agrícola e das interferências climáticas, que podem ser observadas nos dados de precipitação e temperatura obtidos para a área em estudo.

Cabe salientar que a confiabilidade na aplicação de insumos depende de outros fatores além do NDVI, e que devem ser levados em consideração no conjunto de informações a serem utilizadas no momento de adotar o manejo da cultura com uso desta ferramenta.

A produtividade da área em estudo e da região Alto Uruguai Gaúcho sofreu alterações devido aos fatores climáticos, principalmente ausência de chuvas no período de espigamento e enchimento dos grãos de trigo, sendo em um primeiro momento positivo para a biomassa e negativo em relação a produtividade pelo não aproveitamento adequado da adubação aplicada as parcelas analisadas.

7 REFERÊNCIAS

ALONÇO, A. dos S.; MEDEIROS, F. A.; BALESTRA, M. R. G.; DIAS, D. de O.; JUNIO, M. L. L. Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado (VANT) para utilização em atividades inerentes à agricultura de precisão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.8, p.2375-2378, nov, 2008.

ALONÇO, A. dos S. et al. **Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado (VANT) para utilização em atividades inerentes à agricultura de precisão**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2005, Canoas. Anais... Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, p. 1-70, 2005

AUSTIN, R. B.; BINGAHN, J.; BLACKWEL, R. D.; EVANS, L. T. Genetic improvements in winter wheat yield since 1900 and associated physiological changes. **Journal of Agricultural Science**, v. 94, p. 675-689, 1980.

BAPTISTA, G. M. M. Mapeamento do Sequestro de Carbono e de Doms Urbanos de CO₂ em Ambientes Tropicais, por meio de Sensoriamento Remoto Hiperespectral. **Geografia**. v.29, n.2, p.189-202, 2004.

BARRERA, E. D.; FRANK, A.; AL-TAHA, K. Temporal relations in geographic information systems. **ACM DIGMOS RECORD**, v. 20, n. 3, p. 1-14, 1991

BOIJ, R.; UENK, D.; LOKHORST, C.; SONNEVELD, C. **Monitoring crop nitrogen status in potatoes, using crop light reflection**. In: Montpellier. Proceedings ... Montpellier: Agro Montpellier, p. 893-897, 2001.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 852 - **Art. 1º Criar a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão – CBAP**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 21 set. 2012. Seção 1, n. 184. Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do42.htm

BRAGAGNOLO, J. **Fertilização nitrogenada à dose variada na cultura do milho**. 2014. 100 f. TESE (Doutorado em Ciências do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, p. 1-100, 2014.

CALDERINI, D. F.; DRECCER, M. F.; SLAFER, G. A. Consequences of breeding on biomass, radiation interception and radiation-use efficiency in wheat. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.52, n.3, p.271-281, 1997.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **A cultura do trigo**. Brasília: Conab, p. 1-220, 2017.

CONAB, **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v. 5, safra 2017/18- N. 2 - Segundo levantamento, novembro 2017

DE BOER, J.L. **The management time economics of on-the-go sensing for nitrogen application.** Disponível em: <http://www.agriculture.purdue.edu/ssmc/Frames>. 2004.

DUFT, D. **O que significa NDVI e o qual sua relação com agricultura.** Jul. 2014. Disponível em <<http://inteliagro.com.br/o-que-significa-ndvi-e-o-qual-sua-relacao-com-agricultura/>>

EPIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.

EVANS, L.T.; FISCHER, R.A. Yield potential: its definition, measurement, and significance. **Crop Science**, Madison, v.39, p.1.544-1.551, 1999.

FLANDRIN, J. L.; MONTANARI, M. (Dir.). **História da alimentação.** São Paulo: Estação Liberdade, 1998.

FONSECA, J. S. da,; MARTINS, G. de A. **Curso de Estatística.** São Paulo: Editora Atlas S. A., 1980.

FAO – FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Faostat.** Disponível em: <http://www.sna.agr.br/graos-fao-producao-na-safra-global-2017-18-deve-aumentar-13-para-2-646-bilhoes-de-toneladas/>.

GROFF E.C. et. al. Características agronômicas associadas com índices de vegetação medidos por sensores ativos de dossel na cultura da soja. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 2, p. 517-526, mar./abr. 2013

GROHS, D.S. et. al. **Modelo para a estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor GreenSeeker.** Eng Agríc. P. 1-12, 2009.

HUTE A. R. A. Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). **Remote Sensing of Environment.** 1988.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres** / tradução José Carlos Neves Epiphanio et al. São José dos Campos. SP. 2009

KLUTHCOUSKI, J. et. al. Manejo antecipado do nitrogênio nas principais culturas anuais. **Informações Agronômicas no 113**, Encarte Técnico, março/2006, Potafós, 24p.

LIU, W.T.H. **Aplicações de sensoriamento remoto.** Campo Grande: UNIDERP, 2ª edição, p. 1-102, 2006.

MENESES, P.R. et. al. **Introdução ao sensoriamento remoto.** Brasília, CNPq, p. 1-276, 2012.

MOLIN, J.P.; AMARAL, L.R.; COLAÇO, A.L. **Agricultura de Precisão.** São Paulo, 1 ed. Oficina de textos. 2015.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologia de aplicação**. 2.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 307, 2003.

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

NETO, M. S. **Agricultura de precisão com drones**. Disponível em: <http://blog.droneng.com.br/agricultura-de-precisao-com-drones/>

OKSANEN, J. et al. **Vegan: Community Ecology Packag**. R package version 1.17-5. 2013. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/package=vegan>>. Acesso em: 23 mai. 2017.

PIERCE, F.J.; NOWAK, P. **Aspects of precision agriculture**. Adv. Agronomy, v. 67, p.1-85, 1999.

PIRES, João Leonardo Fernandes. **A importância do trigo para a sustentabilidade da agricultura brasileira**. Embrapa. 2017. Disponível em <https://www.embrapa.br/noticias-rss/-/asset_publisher/HA73uEmvroGS/content/id/23416529 >

RAHMAN, A. F.; GAMON, J. A.; FUENTES, D. A.; PRENTISS, D.; QIU, H. **Modeling CO₂ flux of boreal forests using narrow-band indices from AVIRIS imagery**. AVIRIS Workshop, JPL/NASA, Pasadena, Califórnia, 2000.

R CORE TEAM (2013). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em <http://www.R-project.org/>

RESENDE, A.V. et. al. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF. Embrapa. 2010.

RISSINI, Adriano Luiz Lodi; KAWAKAMI, Jackson; GENÚ, Aline Marques. **Índice de vegetação por diferença normalizada e produtividade de cultivares de trigo submetidas a doses de nitrogênio**. R. Bras. Ci. Solo, 39:1703-1713, 2015.

RODRIGUES, M. **Introdução ao geoprocessamento**. Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento. São Paulo: Escola Politécnica, USP. 01 – 26 p. Maio, 1990.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**, Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I, p.309-317, 1973.

SCHADCHINA T. M; DMITRIEVA V. V. **Leaf chlorophyll content as a possible diagnostic mean for the evaluation of plant nitrogen uptake from the soil**. J Plant Nutr.

SCHEPERS, L.; HAEST, B.; VERAVERBEKE, S.; SPANHOVE, T.; BORRE, J. V.; GOOSSENS, R. **Burned Area Detection and Burn Severity Assessment of a Heathland Fire in Belgium Using Airborne Imaging Spectroscopy (APEX)**. Remote Sens., v. 6, p. 1803 - 1826, 2014.

SERRANO, L.; FILELLA, I.; PENUELAS, J. **Remote sensing of biomass and yield of winter wheat under different nitrogen supplies.** *Crop Science*, Madison, v.40, n.3, p.723-731, 2000.

SERRANO L. **Remote sensing of biomass and yield of winter wheat under different nitrogen supplies.** *Crop Sci.* 1995.

SILVA, E.M. et al. **Pesquisa operacional: programação linear, simulação.** 3 ed. São Paulo: Atlas, 1998. 184p.

SILVA, J.SV. **Análise multivariada em zoneamento para planejamento ambiental.** Estudo de caso: Bacia Hidrográfica do Rio Taquari MS/MT. 2003. 307 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SILBERSCHATZ, A.; KORTH, H. F.;SUDARSHAN, S. **Sistema de banco de dados.** Traduzido por Daniel Vieira. Rio de Janeiro: Elsevier; Campus, 2012

SLAFER, G. A.; SATORRE, E. H. **Increase in grain yield in bread wheat from breeding and associated physiological changes.** In: SLAFER, G. A. (Ed.). *Genetic improvement of field crops.* New York: Marcel Decker, 1994. p. 1-68.

SETZER, V. W. **Banco de dados.** 3.ed. São Paulo : Revista Edgard Blucher, 1989.

TEIXEIRA, A. L. de A.; MORETI, E.; CHRISTOFOLETTI, A. **Introdução aos sistemas de informações geográficas.** Rio Claro: Do Autor, 1997. 80p.

TISTALE, S.L. et. al. **Soil Fertility and Fertilizers.** Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ 07458, 1993.

VANZETO, G. V. et al. **Cadastro ambiental rural e avaliação comparativa entre o antigo e atual código florestal federal em um imóvel.** Santa Maria. Revista do centro de ciências naturais e exatas - UFSM v. 39, nº 2, 2017.

VEIGA, T. C.; SILVA, J. X. da. **Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas potenciais para atividades turísticas: O caso do Município de Macaé – RJ.** In: SILVA, J. X. & ZAIDAN, R. T. (Org.) *Geoprocessamento & Análise ambiental.* Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p.179-215, 2004

VENTURIERI, A. **Curso de introdução às técnicas de Sensoriamento remoto.** Belém, BA. Novembro de 2007

ZAGONEL J., VENACIO W.S., KUN R.P., TANAMATI H. **Doses de nitrogênio e densidade de plantas com e sem um regulador de crescimento afetando o trigo, cultivar OR-1.** *Ciencia Rural.*