

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
COLÉGIO POLITÉCNICO DA UFSM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA DE
PRECISÃO**

Sezar Augusto Abadi e Silva

**MANEJO DA POPULAÇÃO DE PLANTAS NA CULTURA DO MILHO A
PARTIR DO NDVI OBTIDO POR IMAGENS DE SATÉLITE**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Santa Maria, RS

2018

Sezar Augusto Abadi e Silva

**MANEJO DA POPULAÇÃO DE PLANTAS NA CULTURA DO MILHO A PARTIR
DO NDVI OBTIDO POR IMAGENS DE SATÉLITE**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional do Programa de Pós- Graduação em Agricultura de Precisão, Área de Concentração em Manejo de Sítio Específico de Solo e Planta, do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Luis Santi

Santa Maria, RS, Brasil.

2018

Silva, Sezar Augusto Abadi

MANEJO DA POPULAÇÃO DE PLANTAS NA CULTURA DO MILHO A
PARTIR DO NDVI OBTIDO POR IMAGENS DE SATÉLITE / Sezar Augusto Abadi e
Silva.- 2018.

46 p.; 30 cm

Orientador: Dr. Antônio Luis Santi

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em
Agricultura de Precisão, RS, 2018

1. Agricultura de Precisão 2. Unidades de Gestão Diferenciada 3.
Taxa Variável de Sementes 4. NDVI I. Santi, Dr. Antônio Luis II.
Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM.
Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da
Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca
Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB
10/1728.

Sezar Augusto Abadi e Silva

**MANEJO DA POPULAÇÃO DE PLANTAS NA CULTURA DO MILHO A PARTIR
DO NDVI OBTIDO POR IMAGENS DE SATÉLITE**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional do Programa de Pós- Graduação em Agricultura de Precisão, Área de Concentração em Manejo de Sítio Específico de Solo e Planta, do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Aprovada em 20 de Abril de 2018

Dr. Antônio Luiz Santi
UFSM- Santa Maria

Dr. André Luis Vian
UFRGS – Porto Alegre

Dra. Lisandra Pinto Della Flora
IF Farroupilha – Frederico Westphalen

Santa Maria, RS, Brasil.

2018

DEDICATÓRIA

A meus pais Emilia Abadi Silva e Jorge Luiz Ramos e Silva pela ínfima contribuição nos ensinamentos, cuidados, carinhos, atenção, orientações e coragem para seguir meu caminho, a meus avós Maria Cândida e Boaventura Ramos e Silva (*in memoriam*) e João Baptista Camargo Abadi (*in memoriam*) pela “inspiração rural” a mim dada, a minha esposa e meus irmãos pelo incentivo, compreensão e confiança em mim depositados.

Dedico esse título a vocês!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por conceder a oportunidade de ter nascido e estar neste mundo, pelas graças concedidas e pela força e determinação de poder lutar pelos meus objetivos.

À minha Mãe Emilia Abadi e Silva e a meu Pai Jorge Luiz Ramos e Silva, agradeço pelo amor, carinho, compreensão, respeito e educação que me ensinaram.

À minha esposa/companheira Mariely Rodrigues e a meus irmãos João Carlos Abadi, Luciana Abadi e Luiz Antônio Abadi, pelos incentivos, pela compreensão, e a confiança em mim depositada.

Agradeço ao professor Doutor Antônio Luis Santi por aceitar dar sua orientação no trabalho, a Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, através do PPGAP- Programa de Pós Graduação em Agricultura de Precisão pela oportunidade a mim dada de adquirir maiores conhecimentos e titulação na área de Tecnologias em Agricultura de Precisão, a todos os professores que tive oportunidade de conviver e obter seus sábios ensinamentos.

À empresa Agroprecision através dos sócios proprietários Rodrigo e Leonardo Rossato pela confiança e credibilidade e por me apoiarem nesse projeto de aprimoramento profissional, a todos aqueles que não foram lembrados, mas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização de meu mestrado, os meus sinceros agradecimentos.

"O que você é, e o que você foi e o que você
virá a ser, é o que você faz agora"

Dalai Lama

RESUMO

MANEJO DA POPULAÇÃO DE PLANTAS NA CULTURA DO MILHO A PARTIR DO NDVI OBTIDO POR IMAGENS DE SATÉLITE

AUTOR: Sezar Augusto Abadi e Silva

ORIENTADOR: Dr. Antônio Luis Santi

O aumento de demanda global por alimentos é um grande desafio para a agricultura moderna e sustentável. Frente a esse cenário a Agricultura de Precisão (AP) assume papel de protagonista, uma vez que é tida como um conjunto de tecnologias que visa o aumento da eficiência agrônômica de produção com base no manejo diferenciado de áreas agrícolas. Reconhecer o potencial produtivo dos ambientes intra-lote no campo produtivo otimizando o gerenciamento agrônômico mais conveniente para cada caso é um determinante no sucesso das atividades agrícolas modernas. Este trabalho teve por objetivo avaliar a utilização de imagens de satélites através do sensoriamento remoto na leitura dos índices de vegetação - NDVI para caracterização de ambientes com diferentes potenciais produtivos, denominados de unidades de gestão diferenciadas (UGDs) e sua relação com a performance das culturas no campo. Foi estudado um talhão comercial de 106,94 hectares, a qual vem sendo manejada em sistema de plantio direto desde 2008. Durante o trabalho foi obtido o histórico de imageamento de NDVI dos últimos sete anos, totalizando dezesseis mapas de ambientes, e selecionados quatro para posterior criação do mapa temático de NDVI, o qual originou mapa temático de UGDs caracterizados por ambientes de baixa, médio e alto potencial produtivos. As UGDs foram utilizadas para prescrição de taxa variável de sementes e criação do mapa temático de semeadura de milho (*Zea mays*). Por fim utilizou-se mapas de produtividade da cultura do milho e soja (*Glycine max*) da área estudada para correlacionar visualmente e através da correlação de Pearson sua relação com as UGDs. Os resultados mostraram-se relevantes e eficientes na utilização de NDVI para delimitação e criação de UGDs e demonstraram-se estarem correlacionados na variabilidade produtiva dos grãos.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão, índices de vegetação, NDVI, UGDs.

RESUMEN

GESTIÓN DE POBLACIONES DE PLANTAS EN EL CULTIVO DE MAÍZ DESDE EL NDVI OBTENIDOS MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITE

AUTOR: Sezar Augusto Abadi e Silva

ASESOR: Antônio Luis Santi

El aumento de la demanda mundial de alimentos es un gran desafío para la agricultura moderna y sostenible. Frente a ese desafío, la Agricultura de Precisión (AP) asume un papel protagonista, ya que es considerada como un conjunto de tecnologías que busca el aumento de la eficiencia agronómica de producción con base en el manejo diferenciado de áreas agrícolas. Reconocer el potencial productivo de los ambientes intra-lote en el campo productivo optimizando la gestión agronómica más convincente para cada caso es un determinante en el éxito de las actividades agrícolas modernas. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar la utilización de imágenes de satélites a través del sensoramiento remoto en la lectura de los índices de vegetación- NDVI para caracterización de ambientes con diferentes potencial productivos, denominados unidades de obtención diferenciadas (UGDs) y su relación con la performance de los cultivos en el campo. Se estudió un tallo comercial de 106,94 hectáreas, la cual viene siendo manejada en sistema de plantación directa desde 2008. Durante el trabajo se obtuvo el historico de imagen de NDVI de los últimos siete años totalizando desestros mapas de ambientes y seleccionados cuatro para posterior creación del mapa temático de NDVI, el cual originó mapa temático de UGDs caracterizados por ambientes de Baja, Medio y Alto potencial productivos. Las UGD se utilizaron para la prescripción de tasa variable de semillas y la creación del mapa temático de siembra de maíz (*Zea mays*). Por fin se utilizaron mapas de productividad del cultivo del maíz y soja (*Glycine max*) del área estudiada para correlacionar visualmente ya través de la correlación de Pearson su relación con las UGDs. Los resultados se mostraron relevantes y eficientes en la utilización de NDVI para delimitación y creación de UGDs y se demostraron estar correlacionados en la variabilidad productiva de los granos.

Palabras clave: Agricultura de precisión, índices de vegetación, NDVI, UGDs.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Curva espectral característica de vegetação.....	17
Figura 2- Fatores morfológicos que influenciam na interação com a energia eletromagnética	19
Figura 3- Assinatura espectral de folhas sadias e senescentes	20
Figura 4- NDVI máximo mensal para diferentes parcelas da cultura de soja	22
Figura 5- Mapa de produtividade de grãos de soja na área do Projeto Aquarius	23
Figura 6- Localização do município no qual foi realizado o estudo	29
Figura 7- Localização da área de estudo, Capão do Cipó/RS, 2017	30
Figura 8- Mapas históricos obtidos por imageamento das culturas através do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). A- Milho em 26/02/2017, B- Milho em 05/12/2016, C-Milho em 03/12/2015, D-Milho em 22/11/2016, E- Soja em 08/01/2015, F- Soja em 19/12/2014 e G- Milho em 16/11/2014	33
Figura 9- Mapas temáticos de NDVI selecionados do histórico de imageamento obtidos ao longo dos anos para posterior sobreposição	35
Figura 10- Mapa temático do histórico de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) da área agrícola de estudo	35
Figura 11- Mapa temático de Unidades de Gestão Diferenciada (UGDs) na área agrícola de estudo	36
Figura 12- Mapa temático com taxa de semeadura de milho utilizadas na diferentes unidades de gestão diferenciadas (UGDs) na safra 2015/2016	36
Figura 13- Mapa temático da produtividade de milho na safra 2015/2016.....	37
Figura 14- Mapa temático da produtividade de grãos de soja na safra 2014-2015	38
Figura 15- Correlação do mapa temático de NDVI (A) X mapa temático de produtividade de milho 2015/2016 (B)	39
Figura 16- Correlação do mapa temático de NDVI (A) X mapa de produtividade de soja 2014-2015 (B)	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Síntese de ferramentas utilizadas por diferentes grupos de pesquisa para a determinação de UGDs.....	25
Tabela 2- Relação dos dados e imageamentos históricos utilizados.	30
Tabela 3- Caracterização dos Ambientes Produtivos baixo, médio e alto.....	31
Tabela 4- Relação das imagens de satélites selecionadas para delimitação de UGDs.	32

LISTA DE SIGLAS

AP – Agricultura de Precisão

IAF – Índice de Área Foliar

IC – Índice de Cobertura

IV – Índices de Vegetação

IVP – Infravermelho Próximo

NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

SR – Sensoriamento Remoto

UGD – Unidade de Gestão Diferenciada

ZM – Zona de Manejo

V – Reflectância Banda do Vermelho

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1	AGRICULTURA DE PRECISÃO	15
2.2	SENSORIAMENTO REMOTO	16
2.2.1	Índices de vegetação	18
2.2.2	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI	21
2.3	VARIABILIDADE ESPACIAL	23
2.4	UNIDADES DE GESTÃO DIFERENCIADOS	24
2.5	INTERVENÇÕES NAS UGDs	26
2.5.1	Taxa variada de semente	26
2.6	MAPEAMENTO DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS	27
3	MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1	DESCRIÇÃO DA ÁREA ESTUDADA	29
3.2	DADOS UTILIZADOS NO ESTUDO	30
3.3	OBTENÇÃO DE DADOS REMOTOS DE NDVI	30
3.4	DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS AMBIENTES PRODUTIVOS	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
5	CONCLUSÕES	41
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1 INTRODUÇÃO

O aumento da demanda global por alimentos, juntamente com economia globalizada, evidenciam que o desenvolvimento e a adoção de tecnologia tem sido e continuará sendo fundamental para a rentabilidade do produtor e para manter a agricultura brasileira competitiva. Frente a esse cenário competitivo da agricultura, a Agricultura de Precisão (AP) emerge como uma ferramenta moderna, auxiliando o produtor na coleta de dados e no gerenciamento das atividades agrícolas, caracterizando-se pela tomada de decisões com base na análise de um conjunto de informações, de modo a aumentar a eficiência e a sustentabilidade da cadeia produtiva.

Ferramentas de AP vem sendo estudadas intensivamente com intenção de aprimorar a eficiência nos processos de intervenção nas glebas, visto que a os campos agrícolas possuem variabilidade nos atributos como relevo, exposição solar, profundidade de horizontes, textura, capacidade de armazenagem de água, entre outras, e que, portanto, apresentam diferente potencial produtivo, impossibilitando um desempenho vegetal homogêneo na área.

A variabilidade espacial das glebas são evidenciadas na produção das lavouras e são difíceis de serem homogenizadas, eis que surge o conceito de Unidade de Gestão Diferenciada (UGD) proposto por Menegatti & Molin, (2002), o qual é definido como regiões dentro dos campos de produção que apresentam mínima variabilidade espacial e permanentes ao longo do tempo. Ainda os mesmos autores definem UGDs como sendo áreas delimitadas, dentro de um talhão, com mínima variabilidade interna.

As UGDs também são conhecidas com zonas de manejo (ZM). Estas zonas são demarcadas normalmente a partir de mapas de fatores não antrópicos e permanentes da área como parâmetros de solo (tipo, textura, condutividade elétrica), relevo entre outros. Segundo Molin (2001) os mapas de produtividade também são informações importantes que podem expressar a variabilidade espacial intrínseca da área e, portanto serem utilizados na delimitação das UGDs.

Para Rodrigues & Zimback (2002) e Bazzi et al. (2012), uma vez demarcadas, as UGDs são uma alternativa para viabilizar a AP economicamente, funcionando como unidades de operação para aplicação localizada de insumos, taxa variada de sementes, indicador para amostragem do solo e da cultura, etc. Segundo Alba et al. (2012) a definição de UGD é fundamental para adoção da AP, pois permite reduzir os custos das operações de campo e otimizar a gestão do empreendimento e podem ser definidas por diversos métodos.

Reconhecer o potencial produtivo de cada ambiente da lavoura e implementar a gestão

de intervenções mais adequada em cada caso, por meio da utilização de taxas variáveis de insumo para melhorar a eficiência, desempenho e rentabilidade da atividade agrícola tem sido apontado como necessário para uma agricultura competitiva e sustentável.

A utilização de sistema de sensoriamento remoto (SR) por meio de índices de vegetação como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) tem potencial para geração de informação e associação para geração de UGDs e a partir disto, realizar manejos diferenciados.

Acredita-se que associando informações geradas pelos mapas de índice de vegetação-NDVI podem-se definir UGDs com distintos potenciais produtivos, que possibilitem realizar intervenções localizadas em taxa variável na população de plantas de acordo com a oferta do ambiente, de forma a garantir melhorias na produtividade e rentabilidade das lavouras.

Considerando isto, nosso objetivo principal com esta pesquisa é “avaliar a utilização de imagens de satélites através do sensoriamento remoto na leitura dos índices de vegetação - NDVI para caracterização de ambientes com diferentes potenciais produtivos, denominados de unidades de gestão diferenciadas (UGDs) e sua relação com a performance das culturas no campo”. São objetivos específicos deste trabalho I- Obter o histórico de imageamento de NDVI de uma área manejada em sistema de plantio direto; II- Criar mapas temáticos de UGDs e utilizá-los para a prescrever a taxa variável de sementes de milho; III- Determinar a eficiência da utilização de NDVI para delimitação e criação de UGDS e sua correlação com a variabilidade produtiva dos grãos de milho.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO

A Agricultura de Precisão (AP) é uma filosofia que considera a área agrícola heterogênea, ou seja que apresenta variabilidade tanto espacial como temporal. O termo agricultura de precisão tem aproximadamente 25 anos, mas os fatos que iniciaram seu surgimento são de longa data.

A AP é uma abordagem moderna de gerenciamento agrícola que parte de informações e dados precisos que se completa com tomadas de decisões assertivas por meio do uso destes. É uma maneira de gerir um campo produtivo metro a metro, levando em conta o fato de que cada pedaço da fazenda possui variáveis de interesse agrônomo diferentes. Os principais conceitos são aplicar os insumos no local correto, no momento adequado e em quantidades necessárias à produção agrícola, em áreas cada vez menores e mais homogêneas, tanto quanto a tecnologia e os custos envolvidos o permitam.

Desde que a agricultura existe, houve a necessidade de diferenciar tratamentos culturais em todos os sistemas produtivos para que aumente a eficiência da produção. Para tanto, diante da expansão das áreas agrícolas proporcionada pelo impulso das máquinas agrícolas, as práticas agrícolas adotadas consideravam a área sendo homogênea do ponto de vista de solo, clima, etc. Diante da exigência por maiores produtividades juntamente com a sustentabilidade surgiu a necessidade de maiores estudos dos aspectos que interferem a produtividades das culturas, e a AP com suas ferramentas obteve destaque.

A AP traz a combinação de diversas tecnologias e informações, que incluem: dados obtidos no campo (características físicas e químicas do solo, topografia, dados de produtividade), dados derivados de interpretação de imagens de satélites (variabilidade espacial e/ou temporal dos cultivos) com a geração de mapas com prescrições de aplicações de insumos (LANDAU et al, 2014).

Tão logo, as ações de AP permitiram a visualização da variabilidade espacial e temporal de alguns fatores ligados a produção agrícola, considerando as particularidades de cada parte da área no momento do manejo, ao invés de manejá-la como se a mesma fosse uniforme (MOLIN, 2001).

Segundo Cambardella & Karlen (1999) a AP contém três componentes essenciais: o sistema de navegação global por satélites (GNSS) que fornece a posição onde o equipamento está

localizado; mecanismos para controle de aplicação de nutrientes, defensivos agrícolas, água ou outros insumos em tempo real; banco de dados que fornece a informação necessária para desenvolver as relações causa e efeito e as respostas a aplicação de insumos a várias condições especificamente localizadas. A AP por seu conceito, nos leva a linha de raciocínio de que é muito mais que simplesmente a habilidade em aplicar tratamentos que variam de local para local. Deve ser considerada como a habilidade em monitorar e acessar a atividade agrícola, precisamente em um nível local, tanto que as técnicas de AP devem ser compreendidas como uma forma de manejo sustentável do aspecto social, econômico e ambiental.

A AP por seu conceito, nos leva a linha de raciocínio de que é muito mais que simplesmente a habilidade em aplicar tratamentos que variam de local para local. Deve ser considerada como a habilidade em monitorar e acessar a atividade agrícola, precisamente em um nível local, tanto que as técnicas de AP devem ser compreendidas como uma forma de manejo sustentável do aspecto social, econômico e ambiental.

As vantagens AP destacadas por Mendes et al. (2014) são o uso mais eficiente dos insumos agrícolas com objetivo de alavancar a produção de alimentos, proporcionando ao produtor, vários benefícios econômicos e ambientais.

Segundo Ragagnin et al. (2010), entre as expectativas a serem atendidas com o uso da AP podem-se citar a redução de gastos com possíveis superdosagens, que podem trazer danos à cultura e ao meio ambiente, redução de perdas por subdosagens, que limitam a produção a quantidades menores que o potencial da cultura, além da exploração mais intensa de porções do terreno com maior capacidade de produção.

2.2 SENSORIAMENTO REMOTO

Segundo Florenzano (2007) sensoriamento remoto (SR) é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície. O termo sensoriamento refere-se à obtenção de dados por meio de sensores instalados em plataformas terrestres, aéreas e orbitais. O termo remoto significa distante, ou seja, sem o contato físico entre o sensor e objetos na superfície terrestre.

Os sensores são os sistemas responsáveis pela conversão da energia proveniente dos objetos em um registro na forma de imagem ou gráfico, que permita associar a energia

captada com as características físicas, químicas, biológicas ou geométricas dos alvos, conforme demonstra a figura 1 onde ilustra a curva espectral característica de vegetação. A partir disto, é possível inferir sobre questões agrônômicas como: estado nutricional das culturas, características do solo, estresse hídrico, sanidade, presença de plantas daninhas, entre outras, (POTT, et al., 2016).

Quanto à fonte de energia, os sensores podem ser classificados como passivos que dependem de uma fonte de energia externa, e ativos os quais produzem sua própria energia, para após o coletor, detector e processador gerar o produto de um gráfico, mapa ou imagem. Os sensores ainda podem ser classificados em imageadores e não-imageadores. Sistemas imageadores produzem imagens bidimensionais da energia captada pelo sensor, sendo apto para produzir informações espaciais. Já sistemas não-imageadores permitem medir a energia proveniente de um alvo tendo como produto um gráfico associando comprimentos de onda, com a respectiva energia captada.

Os sensores ainda podem ser classificados em imageadores e não-imageadores. Sistemas imageadores produzem imagens bidimensionais da energia captada pelo sensor, sendo apto para produzir informações espaciais. Já sistemas não-imageadores permitem medir a energia proveniente de um alvo tendo como produto um gráfico associando comprimentos de onda, com a respectiva energia captada.

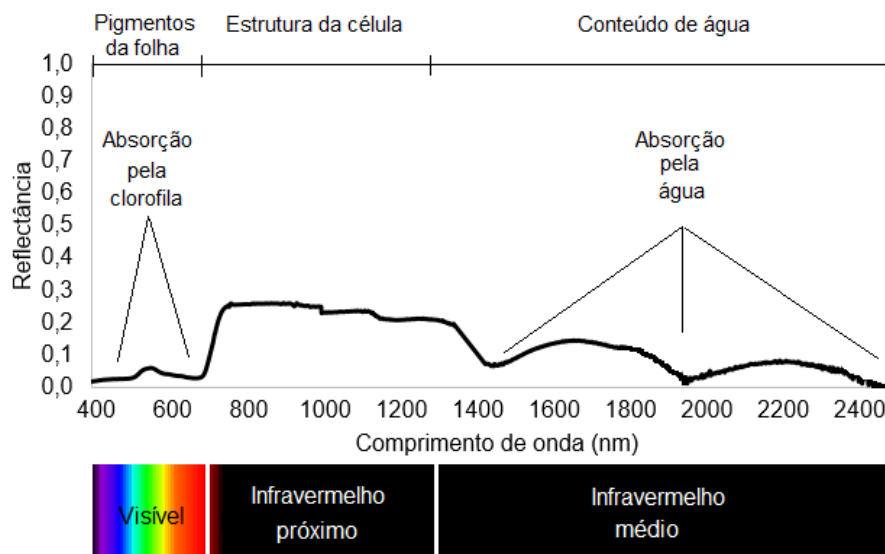


Figura 1: Curva espectral característica de vegetação. Fonte: POTT, (2016).

De acordo com Slater et al. (1983), um dos objetivos do sensoriamento remoto é identificar as características da superfície do terreno, as quais são obtidas através do fluxo de radiação eletromagnética que emana deste e passa pela atmosfera para ser capturado pelo sensor dos satélites em diferentes comprimentos de onda. Ao incidir sobre um determinado alvo, a radiação proveniente do sol interage com o seu material constituinte, podendo ser parcialmente refletida, absorvida ou transmitida. Sendo assim, a cobertura vegetal possui um comportamento espectral característico, descrito como assinatura espectral da vegetação.

Conforme Motomiya et al. (2012), os dados de SR, tais como imagens de satélite, fotografias aéreas e radiometria de campo, podem fornecer informações precisas da variabilidade espacial, por apresentarem potencial para o monitoramento de parâmetros biofísicos ligados à produtividade.

A produtividade da cultura pode ser estimada a partir de sua relação com o vigor da cultura que, por sua vez, pode ser determinada via sensoriamento remoto, pela sua relação com determinados índices de vegetação gerados a partir de imagens multiespectrais (ARAÚJO, 2004). Para a AP, esta tecnologia é uma importante fonte de aquisição de dados, podendo ser utilizada para averiguar o estado nutricional das plantas, condições vegetais para manejo, mapeamento de produtividade de cada colheita, doenças, infestações por pragas, entre outros. Na agricultura, a utilização de sensores que capturam ondas verde, vermelho e infravermelho próximo (IVP), por exemplo, permite verificar o estado nutricional da cultura, através da análise do comportamento espectral, tendo a possibilidade de confecção de Índices de Vegetação (IVs), (HONDA & JORGE, 2013).

Para a AP, esta tecnologia é uma importante fonte de aquisição de dados, podendo ser utilizada para averiguar o estado nutricional das plantas, condições vegetais para manejo, mapeamento de produtividade de cada colheita, doenças, infestações por pragas, entre outros. Na agricultura, a utilização de sensores que capturam ondas verde, vermelho e infravermelho próximo (IVP), por exemplo, permite verificar o estado nutricional da cultura, através da análise do comportamento espectral, tendo a possibilidade de confecção de Índices de Vegetação (IVs), (HONDA & JORGE, 2013).

Somando esforços a comunidade científica tem buscado desenvolver técnicas aplicadas aos produtos do SR que sejam capazes de monitorar a cobertura vegetal em grande escala, a partir da utilização de imagens, sobretudo, orbitais (RODRIGUES, et al. 2013).

2.2.1 Índices de Vegetação (IV)

Nas lavouras, as culturas podem variar seu comportamento produtivo consideravelmente dentro de um mesmo talhão, isso decorrente da interação de vários fatores.

A utilização dos índices de vegetação (IVs) realçam o comportamento espectral da vegetação presente na imagem, correlacionando-se com os aspectos biofísicos (ALVARENGA, 2014). O mesmo destaca que os índices normalmente são utilizados para caracterizar a presença de vegetação fotossinteticamente ativa na superfície, bem como sua distribuição espaço-temporal a qual é inerente às condições climáticas e aos ciclos fenológicos anuais.

Para Moreira (2001), fatores ecológicos representam a dinâmica da vegetação em relação ao meio ambiente e exercem importante papel na interação com a energia eletromagnética. Eles podem ser divididos em fatores morfológicos (que dependem da organização espacial dos elementos envolvidos na captação da luz), e fatores fisiológicos (que se relacionam com a funcionalidade das plantas).

O mesmo autor descreve os principais fatores morfológicos que interagem com a energia eletromagnética:

-

Densidade da cobertura vegetal - representada pelo Índice de Área Foliar (IAF). Esse índice se relaciona com a superfície do solo ocupada pela planta e depende da capacidade da vegetação de interceptar a radiação eletromagnética, podendo ser representado pela seguinte fórmula: $IAF = \frac{\text{(área foliar)}}{\text{(área do solo)}}$

$$IAF = \frac{\text{(área foliar)}}{\text{(área do solo)}}$$

O IAF também permite a estimativa de parâmetros como a fitomassa e a produtividade, conforme descreve Valeriano (1988).

- Distribuição horizontal e vertical das folhas - respectivamente refere-se ao Índice de Cobertura (IC) relacionado com a densidade do plantio, que aumenta proporcionalmente com a área de absorção; e com a distância entre folhas no sentido vertical, que determina o padrão de luz dentro da copa, controlando a passagem de luz solar, (Figura 2, A e B).
- Ângulo de inserção foliar - esse fator regula a penetração da radiação no interior da copa. Um ângulo de inserção próximo de 0° (Figura 2, C) permite maior passagem da

luz para as partes internas da copa, resultando assim numa melhor distribuição da radiação eletromagnética incidente e num maior IAF, possibilitando a geração de maior taxa de fotossíntese.

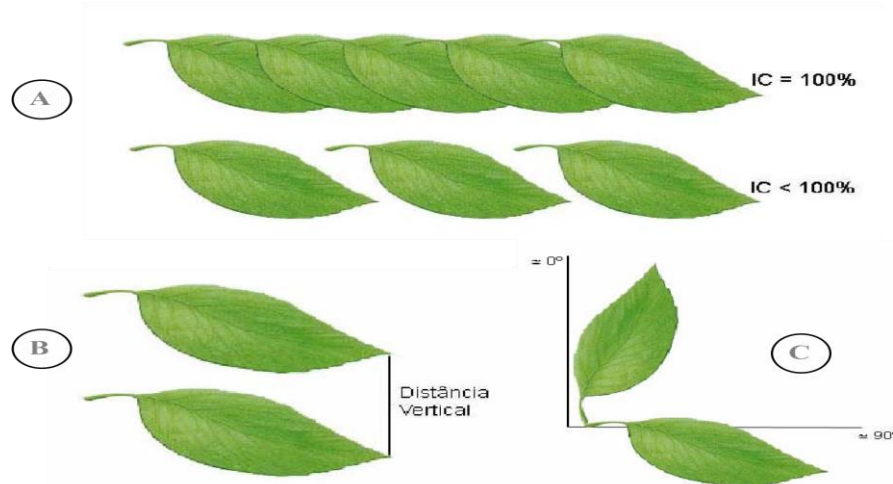


Figura 2- Fatores morfológicos que influenciam na interação com a energia eletromagnética. Fonte: Adaptado de THOMAS, 2002. (<http://www.wellesley.edu/Biology/Courses/108/108.html>).

Os principais fatores fisiológicos que influenciam no comportamento espectral da vegetação são:

-

Idade da planta – observa-se que até as folhas atingirem sua maturidade fisiológica, sua capacidade de realizar a fotossíntese tende a aumentar, a partir desse momento, até a completa maturação da folha, a taxa de realização da fotossíntese tende a diminuir. Portanto, uma folha saudável apresenta maior reflectância que uma folha em estado de senescência, (Figura 3).

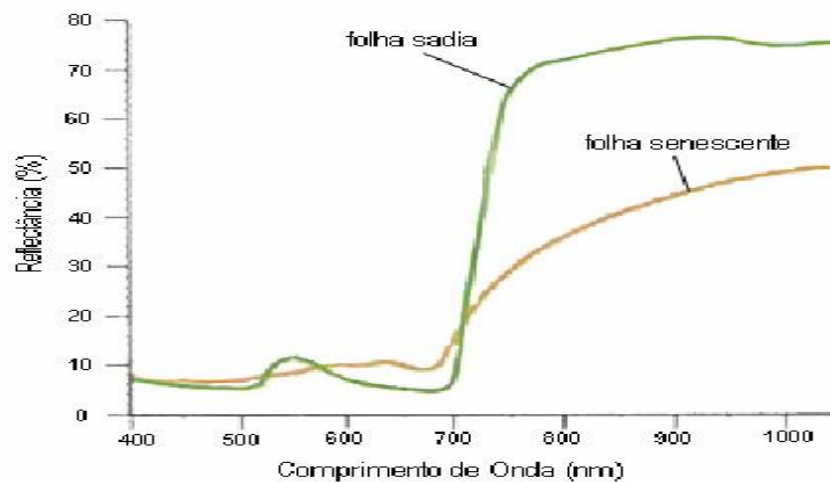


Figura 3 – Assinatura espectral de folhas saudáveis e senescentes. Fonte: Adaptado de JENSEN, 2008.

- Déficit hídrico – se dá através da restrição no suprimento de água para a planta. O principal efeito causado pelo déficit hídrico é o fechamento dos estômatos (que controlam a entrada e saída de água nas folhas), com isso a planta diminui as perdas de água e a absorção de CO_2 . Como resultado da diminuição da absorção de CO_2 , a planta diminui sua taxa fotossintética. O estresse hídrico também afeta o Índice de Área Foliar (IAF), pois faz com que as folhas entrem em estado de murcha.
- Espessura das folhas – a quantidade de luz incidente altera a fisiologia das folhas, desse modo, as folhas que recebem grande quantidade de luz possuem mais camadas de células e o parênquima paliçádico é mais comprimido, sofrendo alongamento na direção da superfície foliar. Por outro lado, as folhas que recebem pouca luz são mais eficientes devido à sua adaptação a essa escassez.
- Déficit nutricional – se dá através da falta de macro e micro nutrientes essenciais para o bom desenvolvimento das plantas. A água, segundo Moreira (2001), desempenha um importante papel na oferta desses elementos, pois realiza seu transporte do solo para a planta, por meio da absorção da solução pelas raízes. Conseqüentemente, quando acontece o déficit hídrico, também ocorre um déficit nutricional, mesmo com a presença de nutrientes no solo. Com a deficiência de nutrientes, ocorre a morte prematura das folhas e a diminuição da concentração da clorofila (principalmente pela falta do magnésio e do nitrogênio, que constituem suas moléculas), acarretando um aumento da reflectância, que também pode ser notado pela deficiência de outros

nutrientes como o fósforo e o cálcio. Os índices de vegetação (IVs) são operações algébricas que envolvem faixas de reflectância específicas, permitindo determinar a cobertura vegetal (CRUZ et al., 2011). Segundo Moreira (2001), tais índices são combinações de dados espectrais de duas ou mais bandas, usualmente, a do vermelho e a do infravermelho próximo, cuja operação matemática obtém um valor adimensional.

Os índices de vegetação (IVs) são operações algébricas que envolvem faixas de reflectância específicas, permitindo determinar a cobertura vegetal (CRUZ et al., 2011). Segundo Moreira (2001), tais índices são combinações de dados espectrais de duas ou mais bandas, usualmente, a do vermelho e a do infravermelho próximo, cuja operação matemática obtém um valor adimensional.

2.2.2 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Um dos índices para parâmetros vegetais mais conhecidos e utilizados é o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), em tradução livre para o português de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, desenvolvido por Rouse et al. (1973), o qual consiste em uma razão tendo como variáveis as bandas do vermelho e infravermelho próximo, como se segue Equação 1.

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V}$$

Equação do índice de vegetação NDVI.

Onde:

IVP= Reflectância da banda no Infravermelho próximo (0,75 – 0,90 μm);

V= Reflectância banda no Vermelho (0,63 -0,70 μm);

O contraste da resposta da vegetação nesses comprimentos de onda faz com que a vegetação seja realçada em relação aos demais alvos, o que facilita a sua identificação e o seu monitoramento a partir de dados de sensoriamento remoto (FERREIRA *et al.* 2002).

Motta et al. (2003), estudaram a evolução temporal do NDVI, obtido de imagens do satélite. O autor aponta que a evolução temporal apresenta sensibilidade quanto às diferenças de uso e cobertura do solo, o que capacita o NDVI a integrar sistemas de monitoramento, objetivando o fornecimento de alertas sobre possíveis problemas de crescimento das plantas. Ele concluiu que as imagens representam uma ferramenta no acompanhamento e previsão de

safras.

Na figura abaixo estão expressas as variações do NDVI para diferentes parcelas da cultura de soja, identificadas por janelas 12,13 e 18. Nesse gráfico pode-se notar com clareza a curva de crescimento da vegetação dentro dos diferentes períodos do ano.

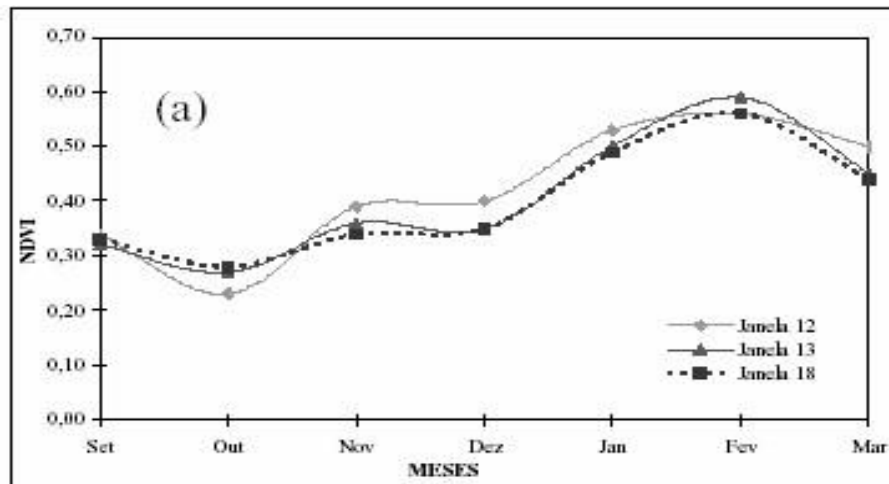


Figura 4 - NDVI máximo mensal para diferentes parcelas da cultura

Ferreira *et al.* (2002) estudaram o comportamento sazonal de diferentes fisionomias vegetais do cerrado. Nesse trabalho, o NDVI foi comparado com outros índices de vegetação, e foi observado um forte relacionamento entre esses índices, que representam a cobertura vegetal fotossinteticamente ativa, com a paisagem da cobertura vegetal. O NDVI foi o índice que apresentou maior sensibilidade aos cenários atmosféricos (nuvens e fumaça das queimadas). Vários estudos vêm mostrando uma boa correlação entre o NDVI e o montante de vegetação, devido a um vasto range de escalas, que são usadas no mapeamento desse índice e são baseadas no imageamento com variadas resoluções espaciais (ENGMAN & SHULTZ, 2000).

O NDVI tem, portanto, uma relação direta com o vigor da vegetação, sendo assim, é possível o mapeamento de áreas com diferentes índices de cobertura vegetal e vigor de biomassa (MOTTA *et al.* 2003).

2.3 VARIABILIDADE ESPACIAL

Muitos usuários e pesquisadores de AP estão de acordo que são necessários reconhecer que há heterogeneidade nas lavouras agrícolas. Esta heterogeneidade gera locais com distintos potenciais de produção nos sistemas de produção agrícolas. Na figura abaixo pode-se observar um exemplo de variabilidade espacial da produtividade de grãos.

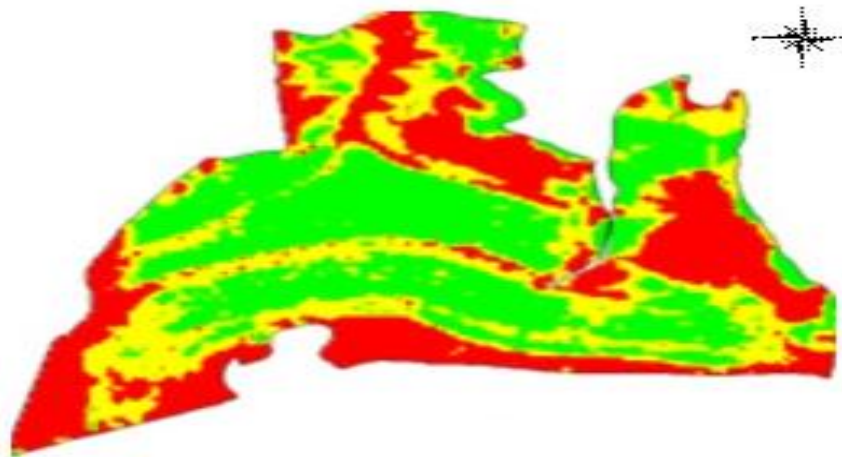


Figura 5: Mapa de produtividade de grãos de soja na área do Projeto

A área de gerenciamento é definida como a sub-região do campo que apresenta uma combinação de fatores que limitam a produtividade e a qualidade para a qual uma dose uniforme de insumos pode ser aplicada (DOERGE, 2013).

Os mapas de produtividade segundo Molin et al. (2009), são as informações mais precisas e concisas de reconhecer a variabilidade espacial das glebas. A partir desta informação é possível vasculhar todos atributos que afetam a produtividade das culturas agrícolas com objetivo de aumentar a precisão no manejo obtendo maior retorno econômico.

Para reconhecer a variabilidade espacial das glebas é necessário realizar *data mining* dos atributos tanto provenientes das características do solo (acidez, fertilidade, biológica e física do solo, etc.), de planta (estado nutricional, condições fitossanitárias, etc.) e de clima (temperatura, precipitação pluvial, adversidades climáticas, etc.). Este conjunto de informações irá compor o *big data* com potencial de realizar intervenções mais efetivas no sistema de produção agrícola.

2.4 UNIDADES DE GESTÃO DIFERENCIADAS (UGDs)

A variabilidade espacial das glebas que incide em locais com diferentes potências de produção é corrigível em algumas situações, para tanto, há cenários em que mesmo realizando intervenções no local, o potencial produtivo é inalterado, sendo definidas Unidades de Gestão Diferenciada (UGDs).

Segundo Mann et al. (2010) as UGDs podem ser interpretadas como regiões dentro dos campos de produção que apresentam mínima variabilidade espacial e permanentes ao longo do tempo. Elas são demarcadas normalmente a partir de mapas de fatores não antrópicos e permanentes da área como parâmetros de solo (tipo, textura, condutividade elétrica), relevo entre outros.

A área de gerenciamento é definida como a sub-região do campo que apresenta uma combinação de fatores que limitam a produtividade e a qualidade para a qual uma dose uniforme de insumos pode ser aplicada (DOERGE, 1999)

Para tanto, conhecer e explorar UGDs vem sendo uma ótima alternativa, que segundo Butzen et al (2012) envolve processos geralmente baseados em:

- Resultados do mapa de colheita ao longo de vários anos
- Taxas de produtividade de culturas com base no tipo de solo
- Topografia, paisagem, declive ou drenagem
- Cultivar e conhecimento do histórico de rendimentos,
- Condutividade elétrica do solo e / ou cor do solo
- Imagens remotas (aéreas e satélites), NDVI, solo nu, vigor de plantas

Na Tabela 1 demonstra-se metanálise das ferramentas de agricultura de precisão utilizadas por diferentes grupos de pesquisa para geração das UGDs.

Tabela 1- Síntese de ferramentas utilizadas por diferentes grupos de pesquisa para a determinação de UGDs.

Critério*	Resultados	Autores
AS	Definiram UGD com base na determinação da infiltração do solo	Santi et al. (2012)
	Definiram UGD de manejo da aplicação de fertilizantes, com base em dados de fertilidade do solo	Xin-Zhong et al. (2009)
	Definiram zonas de produtividade similar para as culturas de arroz, de trigo de inverno e de soja, com base em atributos do solo	Ikenaga&Inamura (2008)
	Delinearam UGD para a aplicação de fertilizantes, em função de atributos do solo (pH, CE, P e MO)	Shepers et al. (2004)
	Delinearam UGD para o manejo da aplicação de fertilizantes, com base em diferentes técnicas (imagem, relevo e experiências do produtor)	Fleming et al. (2000)
CE	Utilizaram CE para definir UGD, tendo estas, alta correlação com aquelas definidas por outras propriedades do solo.	Molin e Castro (2008)
	Definiram com sucesso três zonas com potenciais produtivos diferenciados.	Fleming et al. (2004)
MP	Utilizou produtividades normalizadas para definir UGD a partir de baixa, media e alta produtividade de grãos	Molin (2002)
	Utilizaram e definiram UGD a partir de dados de produtividades normalizadas do milho irrigado	Diker et al. (2004)
	Definiram UGD de produtividade de soja e milho a partir de dados de produtividade normalizados	Brock et al. (2005)
IA	Definiram UGD de produtividade a partir de dados de imagem Landsat, para a cultura do algodão	Boydell&McBratney (2002)
	Definiram UGD de produtividade de soja e trigo, utilizando imagens obtidas por meio de videografia área digital multiespectral.	Araujo et al. (2005)
	Definiram UGD de produtividade com base em atributos de imagem	Song et al. (2009)
IN	Definiram UGD de produtividade com base em variáveis do solo e da paisagem	Delalibera et al. (2012)
	Definiram UGD (baixa, media e alta produtividade) com base em atributos do solo e de imagem	YAN et al. (2007)
	Definiram UGD de produtividade da uva, a partir de dados de CE e de atributos de imagem (NDVI)	Acevedo-Opazo et al. (2008)
	Delinearam UGD para aplicação variada de N a partir de dados de elevação topográfica, CE e água disponível no solo	Delin&Berglund (2005)
	Definiram UGD com o objetivo de minimizar o erro na recomendação de fertilizantes, em duas áreas com rotação de milho seguido por soja	Chang et al. (2004)
	As UGD foram validadas com os mapas de produtividade e parâmetros químicos do solo (MO, N, P, K, Zn), textura e CE	Fleming et al. (2000)
	Definiram zonas de produtividade do milho, utilizando atributos do solo, planta e clima.	Santos et al.(2003)
Definiram UGD para a cultura do milho com base em atributos do relevo e da CE	Fraise et al., (2001)	

*AS: atributos do solo; CE: condutividade elétrica do solo; MP: mapa de produtividade; IA: imagem aérea; e IN: integrados

Fonte: ALMEIDA, et al. (2014).

A variabilidade temporal pode ser obtida pela coleta de dados por vários anos, possibilitando a criação de um “mapa de tendência espacial” que remove o efeito temporal. Outra opção é o “mapa de estabilidade temporal”, que indica as áreas que são estáveis (ou têm sido altamente variáveis) no período considerado (BLACKMORE & LARSCHEID, 1997).

O estudo da variabilidade espacial das propriedades do solo, da produtividade das culturas ou dos índices de vegetação derivados de imagens de satélite permitem o agrupamento de áreas de características similares nos lotes de produção (DOERGE, 1999).

Para Rodrigues & Zimback (2002) e Bazzi et al. (2012), uma vez demarcadas, as UGDs são uma alternativa para viabilizar a AP economicamente, funcionando como unidades de operação para aplicação localizada de insumos, indicador para amostragens, entre outros. Nesse contexto, a dinâmica na performance produtiva das culturas no decorrer das safras evidencia fortes tendências na caracterização de UGDs baseadas nos desempenhos das mesmas numa escala espaço-temporal no campo produtivo.

Nesse contexto, a dinâmica na performance produtiva das culturas no decorrer das safras evidencia fortes tendências na caracterização de UGDs baseadas nos desempenhos das mesmas numa escala espaço-temporal no campo produtivo.

2.5 INTERVENÇÕES NAS UNIDADES DE GESTÃO DIFERENCIADA (UGDs)

Ao identificar as variáveis que estão relacionadas com a variabilidade produtiva de determinada cultura é possível determinar áreas de alto, médio e baixo potencial produtivo e, assim, manejá-las individualmente com estratégias específicas para cada parte do talhão (ORTEGA & SANTIBANEZ, 2007). Neste sentido, é possível realizar intervenções específicas para cada UGD, que pode ser aplicação variada de fertilizantes, agroquímicos, sementes, entre outras possibilidades, com intuito de elevar a eficiência das operações visando maior rentabilidade na atividade agrícola.

Regiões distintas intralote constituem zonas de gerenciamento onde a combinação dos fatores responsáveis pela variação do rendimento das culturas permite adaptar as práticas de cultivo (Doerge, 1999). A resposta das culturas varia de maneira específica por zona de manejo, por isso é necessário validar os esquemas ou propostas de recomendações localmente. Logo, é conveniente realizar experiências de campo usando as ferramentas da agricultura de precisão.

Delimitadas as UGDs, torna-se mais fácil a aplicação das técnicas de AP, uma vez que podem ser empregadas técnicas no manejo das culturas de maneira localizada e otimizada para as particularidades expressadas nas unidades homogêneas.

2.5.1 Taxa variada de sementes

As culturas expressam respostas diferentes às mudanças de espaçamento e densidade, comumente associadas às diferentes tolerâncias a tensões que limitam o crescimento durante o

período crítico e reduzem o rendimento.

A população de plantas considerada como ideal é aquela que permite o maior produtividade de grãos por área (DOURADO-NETO & FANCELLI 2003), sendo que para cada sistema de produção existe uma população ótima que maximiza o rendimento (SANGOI, 2000). Serpa (2011), ao testar diferentes populações de milho (50000, 70000, 90000 e 110000 pl ha⁻¹) no Rio Grande do Sul, sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica, conclui que, em condições ótimas de disponibilidade hídrica a população ótima foi a máxima testada (110000 pl ha⁻¹) enquanto que, sob condições normais de chuvas, a população ótima ficou em 90000 pl ha⁻¹.

Em estudo realizado por Horbe et al. (2013), nas condições de safra de verão no sul do Brasil a semeadura à taxas variáveis permitiu otimizar a população de plantas de milho com incrementos de produtividade. Houve aumento de produtividade de 1200 kg ha⁻¹ e 1900 kg ha⁻¹ em áreas de gestão de baixo desempenho devido à redução na população de plantas para 49816 pl ha⁻¹ e 46242 pl ha⁻¹ em relação à população padrão 70000 pl ha⁻¹, o que equivale a uma redução média de 29% na taxa de semeadura. Em áreas de alto desempenho, o incremento médio de produtividade foi de 880 kg ha⁻¹ e 940 kg ha⁻¹ devido ao aumento na população de plantas para 77666 pl ha⁻¹ e 81576 pl ha⁻¹ em relação à população padrão de 70000 pl ha⁻¹. Nesses casos, os ganhos econômicos foram de aproximadamente 25% em área de baixo desempenho e 6% em áreas de alto desempenho.

A variação nas taxas de semeadura em 5000 pl ha⁻¹ entre UGD reduziu 6,25 US\$ por ha⁻¹ nos custos com sementes. No entanto, caso a população de plantas fique abaixo do ótimo econômico os rendimentos decrescem significativamente, devido ao estande de plantas insuficiente; já se a população ficar acima do ótimo econômico, gera maiores custos com sementes (BLAKE, et al., 2003).

2.6- MAPEAMENTO DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS

Os mapas de produtividade ou mapas de colheita carregam informações muito importantes e podem ser entendido como um bom parâmetro de comparação entre as produtividades obtidas em diferentes partes do talhão (KING *et al.*, 2005).

O mapa de produtividade é obtido a partir de colhedoras equipadas com sensores e monitores de colheita. Este sensor de colheita gera um conjunto bastante denso de pontos onde cada ponto é um polígono formado pela largura da plataforma e distância percorrida da

máquina, e este ponto representa uma amostra do peso de grãos.

Dentre os dados coletados em cada amostra está o peso de grãos, umidade dos grãos, parâmetros de área (largura da plataforma e velocidade de deslocamento da máquina), bem como a posição geográfica do ponto. Essas informações são obtidas por sensores apropriados instalados na colhedora e chegam a ser registradas em intervalos de 1s (MOLIN, 2001). Invariavelmente, os dados coletados para a geração de mapas de produtividade carregam valores errôneos sistemáticos que precisam ser removidos visando à correta interpretação das informações. Os erros mais comuns ocorrem no início e no final de cada passada devido ao tempo de retardo e enchimento da máquina colhedora (BLACKMORE MOORE, 1999; MOLIN, 2001). Esses ruídos ou erros podem ser facilmente identificados e eliminados do conjunto de dados originais com a aplicação de métodos simples de triagem dos dados (BLACKMORE & MOORE, 1999; SPEKKEN et al. 2013).

Invariavelmente, os dados coletados para a geração de mapas de produtividade carregam valores errôneos sistemáticos que precisam ser removidos visando à correta interpretação das informações. Os erros mais comuns ocorrem no início e no final de cada passada devido ao tempo de retardo e enchimento da máquina colhedora (BLACKMORE MOORE, 1999; MOLIN, 2001). Esses ruídos ou erros podem ser facilmente identificados e eliminados do conjunto de dados originais com a aplicação de métodos simples de triagem dos dados (BLACKMORE & MOORE, 1999; SPEKKEN et al. 2013).

Mapas de produtividade são importantes pois podem ser associados aos atributos que interferem na variação da produtividade, podendo ser uma ferramenta para identificar e relacionar intervenções e correções nas áreas agrícolas.

3- MATERIAIS E MÉTODO

3.1- DESCRIÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

Os estudos referentes a este trabalho foram conduzidos em área comercial de produção de grãos pertencentes à Granja Raízes do Campo, de propriedade de Jovane Basso, situada na localidade de Entre Rios, no município de Capão do Cipó, RS, Brasil (Figura 6). (Latitude 28°53'05"S, Longitude 54°30'38,20"O).

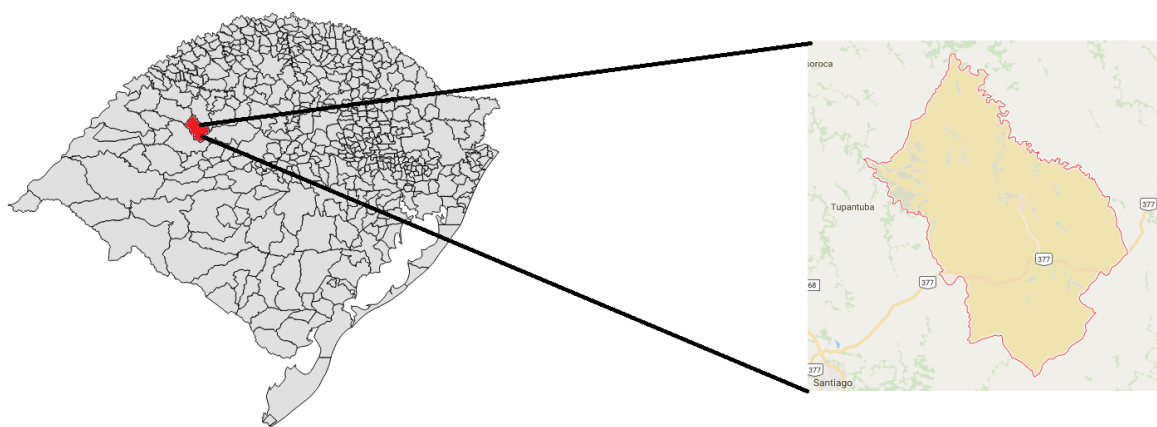


Figura 6- Localização do município no qual foi realizado o estudo. Fonte: Adaptado de imagens aéreas do Google Earth.

Pela classificação climática de Köppen-Geiger o clima é considerado mesotérmico úmido sem estação seca. Na região, o solo predominante é argilo-arenoso, classificado como Latossolo Vermelho distroférico, conforme classificação do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 1999).

A área destinada ao protocolo de avaliação possui 106,94 hectares (Figura 7). A área vem sendo manejada em sistema de plantio direto (SPD) desde 2008. Possui histórico de fertilidade desde 2012, por meio de mapas de fertilidade os quais acumulam manejos de fertilização à taxa variável nos últimos cinco anos.



Figura 7- Localização da área de estudo, Capão do Cipó/RS,

3.2 DADOS UTILIZADOS NO ESTUDO

Foram utilizados para elaboração do trabalho dados históricos da área, conforme descrito na Tabela 2:

Tabela 2- Relação dos dados e imageamentos históricos utilizados.

SAFRA	CULTURA	CULTIVAR	PLANTIO	COLHEITA	IMAGEAMENTO
2013/2014	Milho	30f53	Agosto/13	Março/14	16/11/2014 (G)
2014/2015	Soja	Nidera 5445	Outubro/14	Março/15	08/01/2015 (E) 19/12/2014 (F)
2015/2016	Milho	Dekalb 230	Agosto/15	Março/16	03/12/2015 (C) 22/11/2015 (D)
2016/2017	Milho	Agroceres 220	Agosto/16	Janeiro/17	26/02/2017 (A) 05/12/2016 (B)

Fonte: Banco de dados do produtor.

3.3 DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS AMBIENTES PRODUTIVOS

A classificação das imagens em UGDs foi realizada pela GeoAgro por meio do software GeoAgroGIS com o uso do índice de vegetação com diferença normalizada (NDVI).

Desta maneira, a área foi dividida em três classes em tamanhos e localização diferentes representado pelos valores de NDVI denominados: baixo, médio e alto.

As classes que caracterizam os ambientes produtivos tiveram por parâmetro de classificação bandas de respostas espectrais ao IVs. Considerando as respostas espectrais de IVs obtidos pelas interpolações dos mapas de NDVI históricos, caracterizou-se/delimitou-se os ambientes produtivos descritos na Tabela 3.

Tabela 3- Caracterização dos Ambientes Produtivos baixo, médio e alto.

Resposta espectral de IVs (classe)*	NDVI efetivo (classe)*	Ambientes produtivos
< 0,6481	0,6481	BAIXO
0,6481 a 0,6664	0,6664	MÉDIO
0,6836 <	0,6836	ALTO

Fonte: Geoagro. *Os parâmetros de classes seguem protocolos definidos pela detentora das imagens.

Os parâmetros de classes seguem protocolos definidos pela detentora das imagens.

Neste contexto, procurou-se diagnosticar e reconhecer, por meio de mapas de NDVI, dentro do talhão, ambientes intralote que oferecem potenciais produtivos homogêneos, implementando e aferindo a gestão de manejo de prescrição de população de plantas mais conveniente para cada caso.

3.4 OBTENÇÃO DE DADOS REMOTOS DE NDVI

A empresa Agroprecision forneceu dados de IVs históricos que caracterizaram ambientes com distintos potenciais produtivos, os quais tratamos como UGDs no trabalho.

Foram analisadas 7 imagens obtidas por meio do satélite Landsat 8, com resolução espacial de 30x30 m, entre o período dos anos de 2014 e 2017. Destas, selecionou-se 3 - as três que se demonstraram de melhor qualidade para posterior sobreposições de mapas temáticos de imagens de NDVI para obter mapas de UGDs mais confiáveis, o que é rotineiro em trabalhos com sensoriamento remoto voltados a agricultura de precisão.

Tabela 4- Relação das imagens de satélites selecionadas para delimitação de UGDs.

Safra	Cultura	Data da imagem	Satélite
2013/2014	Milho	16/11/2014	Landsat 8
2014/2015	Soja	08/01/2015	Landsat 8
2016/2017	Milho	05/12/2016	Landsat 8

Fonte: Banco de dados da empresa Geoagri.

Todas as leituras históricas do índice de vegetação NDVI foram georreferenciadas na mesma localização e mesmo dimensionamento espacial do talhão temporalmente em safras/datas distintas. Para interpolação utilizou-se a ferramenta GeoAgroGIS, software de sistema de informação geográfica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o crescimento de uma cultura é possível observar diferenças no vigor das plantas localizadas em diferentes regiões do campo em função das variações espaciais e temporais dos fatores de produção relacionados à planta, ao solo e as condições do meio (Salvador, & Antuniassi, 2011). Na Figura 8 pode-se observar os mapas históricos de NDVI utilizados que originaram o mapa temático de NDVI.

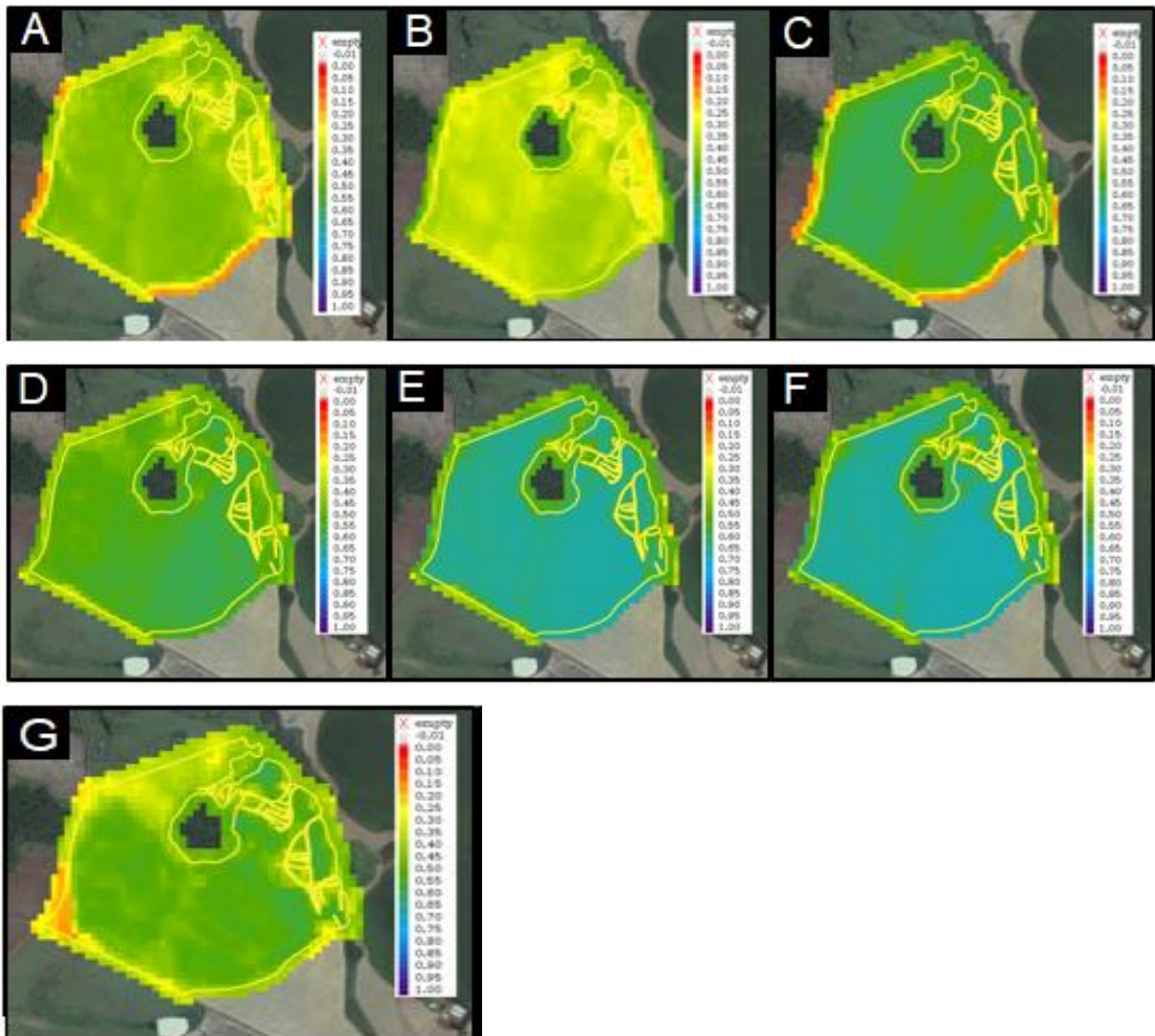


Figura 8- Mapas históricos obtidos por imageamento das culturas através do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). A- Milho em 26/02/2017, B- Milho em 05/12/2016, C- Milho em 03/12/2015, D- Milho em 22/11/2016, E- Soja em 08/01/2015, F- Soja em 19/12/2014 e G- Milho em 16/11/2014.

Fonte: Adaptado de GeoAgro, 2017.

Quando compara-se as imagens georreferenciadas obtidas ao longo dos anos observa-se elevadas correlações visuais entre as classes de NDVI e as diferentes tonalidades

da vegetação da imagem, o que segundo Schlummer et al. (1999), apud Salvador, & Antuniassi (2001), pode ser explicado pela elevada sensibilidade dos índices que comparam porções do espectro do visível nas bandas do vermelho e do verde com o infravermelho próximo obtendo variações na cobertura foliar das culturas e condições de vigor da vegetação.

Definição de UGDs deve-se basear em informações espaciais que são estáveis ou previsíveis ao longo do tempo e as informações sobre rendimento das culturas representam a melhor forma de diagnosticar variações no campo (Li et al, 2007).

Índices de vegetação fornecem uma boa medida da atividade dos cultivos nas diferentes fases do ciclo, desde a emergência das plantas até a estimacão do rendimento de grãos. A variação dos índices atribuídos permite a visualização de áreas com menor desenvolvimento vegetativo e a possibilidade de detectar situações de alerta e que podem exigir medidas corretivas.

A classificaçã das imagens multiespectrais pelo IVs com NDVI é uma classificaçã relativa, uma vez que não leva em consideraçã as características espectrais absolutas de uma cultura encontrada a cada ano, e sim, analisa toda a imagem e distribui os valores de NDVI em intervalos que representam as classes obtidas com diferentes culturas, (Tabela 3).

A utilizaçã de grandes quantidades de informaçã, que no caso sã mapas temáticos de NDVI temporais, dã confiabilidade na geraçã do mapa histãrico de NDVI, sendo passível de intervenções de manejo baseadas na informaçã gerada por estes mapas. Considerando os fatores que influenciam a produtividade e importãncia dos mapas na tomada de decisã para cultivos posteriores, muitos autores defendem nã sã a criaçã de um mapa instantãneo, mas há necessidade para criã-lo dentro de um sistema de gerenciamento que armazenem uma base histãrica de alguns anos, em que todos os parãmetros disponíveis da área devem ser considerados (LANDAU et al., 2014).

Em concordãncia com os autores, selecionou-se dentro do histãricos de imageamento obtidos ao longo dos anos, trẽs mapas temáticos de NDVI (Figura 9- B, E, e G), para posteriormente serem sobrepostos gerando um Mapa temático de Índice de Vegetaçã por Diferença Normalizada (NDVI) com maior confiabilidade, tendo como classes: baixo, médio e alto valores de NDVI (figura 10).

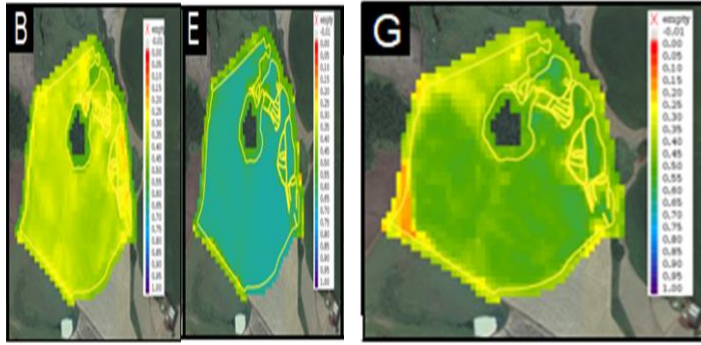


Figura 9- Mapas temáticos de NDVI selecionados do histórico de imageamento obtidos ao longo dos anos para posterior sobreposição. Fonte: GeoAgro, 2017.

A seleção das imagens a serem utilizadas na sobreposição e confecção do mapa temático de NDVI, seguiram protocolos de tecnologias estabelecidos e desenvolvidos pela empresa GeoAgro a qual desenvolveu o trabalho de sobreposições.

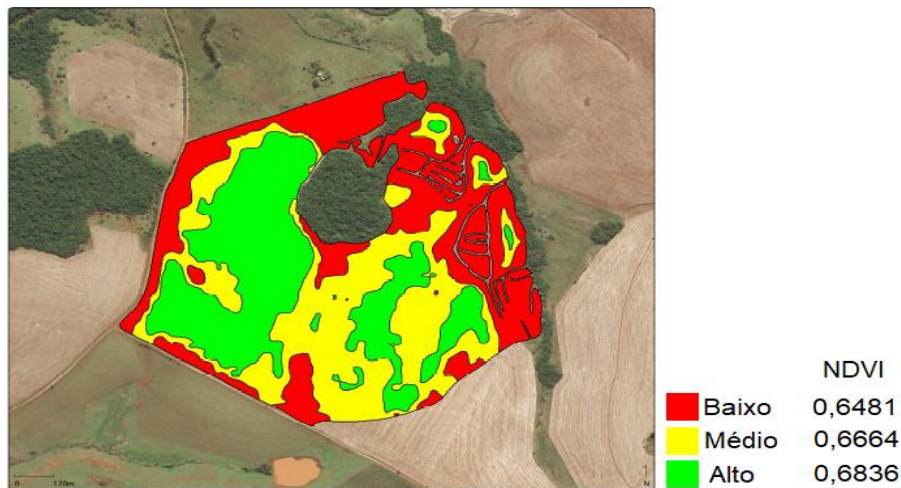


Figura 10- Mapa temático do histórico de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) da área agrícola de estudo. Fonte:

Tão logo, a utilização do mapa temático do histórico de NDVI do talhão, possibilitou gerar UGDs com três potenciais diferentes de produção e gestão, UGDs definidas a partir dos índices de vegetação obtidas por meio da leitura de NDVI. Testando a efetividade do índice de vegetação NDVI em representar os reais potenciais de produção de um talhão agrícola.

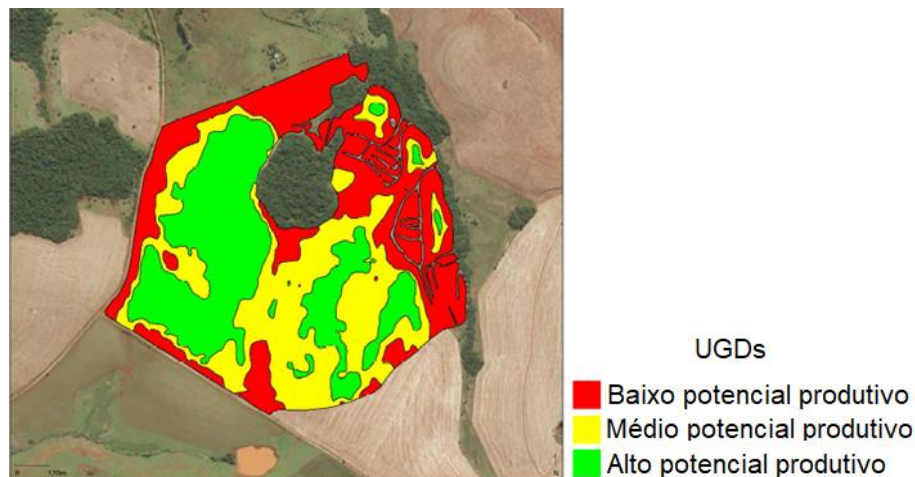


Figura 11- Mapa temático de Unidades de Gestão Diferenciada (UGDs) na área agrícola de estudo. Fonte: GeoAgro, 2017.

Os resultados do presente trabalho condizem com Brandão et al., (2014) em seu trabalho de correlação existente na variação de biomassa (IVs) obtidas a partir de imagens aéreas de NDVI para criação de zonas de gestão, onde os autores demonstraram que é possível criar zonas de gestão a partir de imagens do dossel (NDVI).

Tendo em vista os objetivos do trabalho, a designação de zonas de gerenciamento dentro de um campo é o primeiro passo no desenvolvimento de uma estratégia de semeadura à taxa variável (BUTZEN et al., 2012). Para desenvolver prescrições de taxa variável para cultura- (insumos como semente e fertilizante, por exemplo) é necessário primeiro delinear campos em regiões de potencial de produção distintos (Butzen, et al., 2012), também conhecidos como zonas de gerenciamento ou UGDs.

No presente trabalho foram utilizadas três taxas de semeadura de milho (*Zea mays*), uma para cada UGD, 80.000 plantas/ha para UGD baixa, 83.000 plantas/ha para UGD média, e 86.000 plantas/ha para UGD alta, (Figura 11), objetivando manejo em sítio específico do insumo semente de milho, buscando maior rendimento de grãos. O mapa temático de taxa de semeadura seguiu protocolos de tecnologias estabelecidos e desenvolvidos pela empresa AgroPrecision a qual desenvolveu o trabalho.

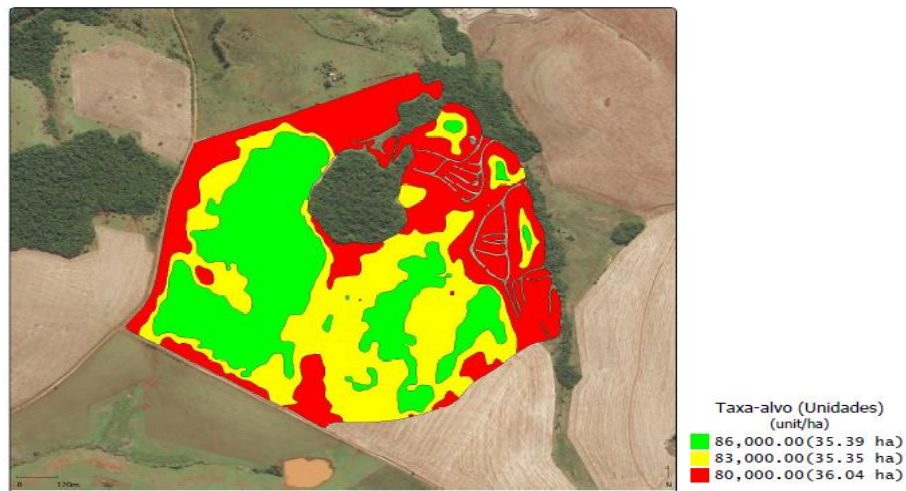


Figura 12- Mapa temático com taxa de semeadura de milho utilizadas na diferentes unidades de gestão diferenciadas (UGDs) na safra

Quando comparado o mapa temático do NDVI com o mapa de produtividade de grãos de milho na safra 2015/2016, pode-se observar uma alta correlação entre ambos, com valor de correlação de Pearson de $r = 0,73$ *** dados enviados ao orientador para ajuda no feitura ou retirar do trabalho a relação, sendo o NDVI um excelente índice para antecipar diferentes potenciais produtivos de milho no sistema agrícola.

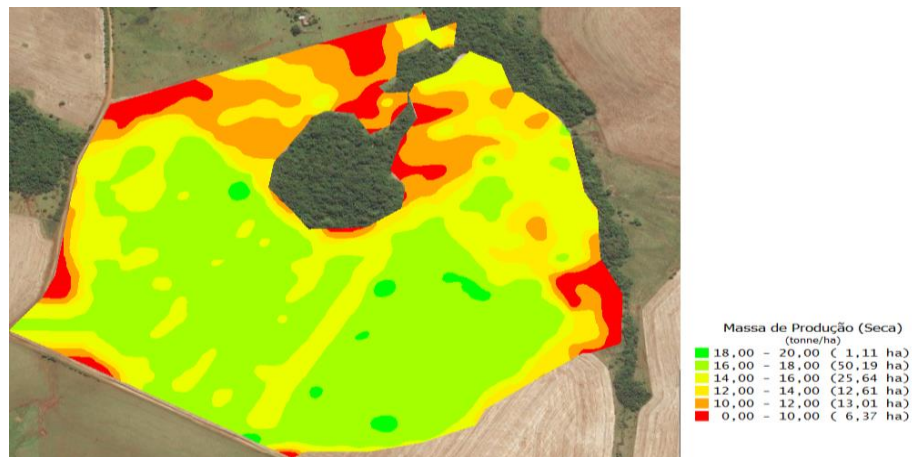


Figura 13- Mapa temático da produtividade de milho na safra 2015/2016. Fonte: Arquivo pessoal do produtor.

Nota-se a variabilidade espacial da produtividade de grãos de milho tendo relação direta com os valores de NDVI, e conseqüentemente as UGDs. Podendo ser ferramenta básica para gerar recomendações de manejo básica como é o processo de semeadura de milho com diferentes

populações em função de ambientes diferenciados na área agrícola, assim como verificado por Santi et al. (2012), onde o ajuste da população de plantas, de acordo com a oferta específica de cada ambiente, otimizou a produtividade. Mesmo comportamento se observou com o mapa temático da produtividade de grãos da soja na safra 2014/2015, onde a variabilidade produtiva do talhão segue tendências de variabilidade espaciais encontradas nos mapa temático de UGDs e mapa temático de NDVI.

Mesmo comportamento se observou com o mapa temático da produtividade de grãos da soja na safra 2014/2015, onde a variabilidade produtiva do talhão segue tendências de variabilidade espaciais encontradas nos mapa temático de UGDs e mapa temático de NDVI.

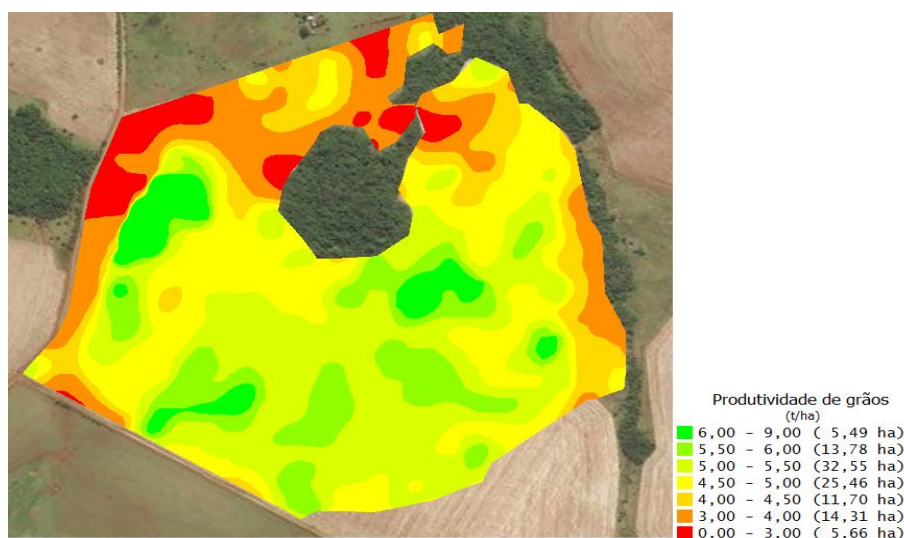


Figura 14- Mapa temático da produtividade de grãos de soja na safra 2014-2015. Fonte: Arquivo pessoal do produtor, interpolado pelo

Pode-se observar a variabilidade espacial semelhante tanto do mapa de NDVI, quanto da produtividade de grãos. Comparando-se o mapa temático de NDVI com mapa de produtividade de milho, visualiza-se alguns pontos com menor valor de NDVI relacionados com alguns pontos de menor produtividade para a cultura do milho. O mesmo comportamento de correlação se evidencia em regiões de médio NDVI apresentando correlação com regiões de média produtividade da cultura e de igual maneira nos pontos de alto NDVI correlacionados com alta produtividade (Figura 15).

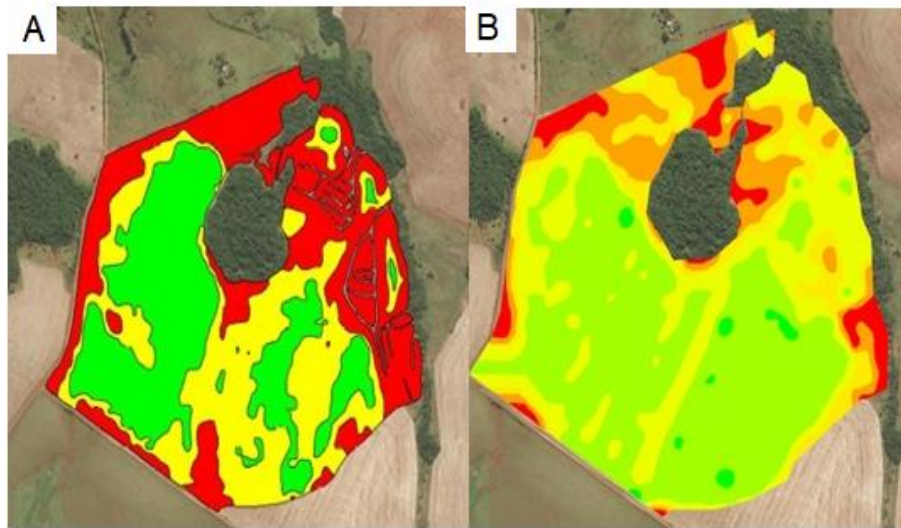


Figura 15- Correlação do mapa temático de NDVI (A) X mapa temático de produtividade de milho 2015/2016 (B).Fonte: Arquivo

Resultado semelhante ocorreu no ano anterior com a cultura da soja, onde comparando-se o mapa temático de NDVI com mapa de produtividade de soja 2014-2015, observa-se nos ambientes correlação existente entre NDVI e produtividade de grãos. Regiões de baixo NDVI expressaram-se como regiões de baixa produtividade de grãos, regiões de médio NDVI correlacionaram-se com regiões de media produtividade e regiões de alto NDVI correlacionaram-se com regiões de alta produtividade de grãos de soja (Figura 16).

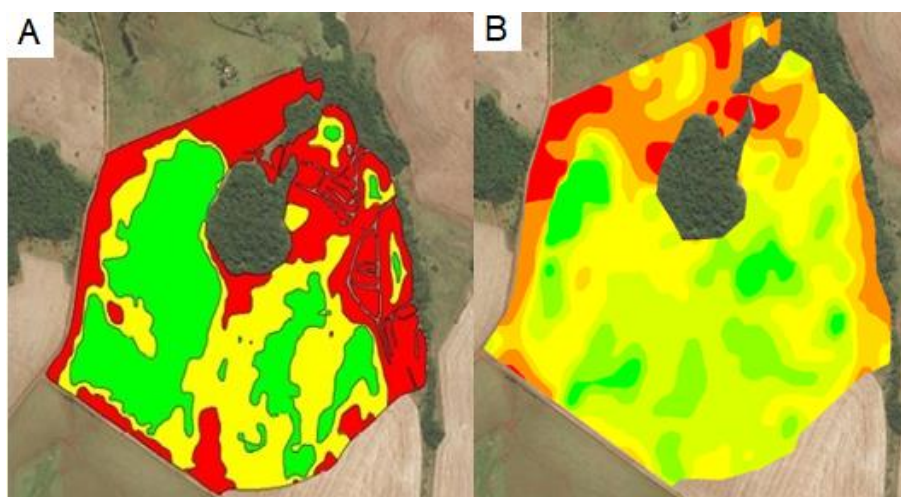


Figura 16- Correlação do mapa temático de NDVI (A) X mapa de produtividade de soja 2014-2015 (B).Fonte: Arquivo pessoal do produtor, interpolado pelo autor.

Os resultados avaliados no trabalho corroboram com Araújo et al., (2005) onde relatam que imagens de NDVI apresentam maior coeficiente de determinação na regressão com a estimativa de produtividade de culturas de grãos. Também corroboram com Martins, (2017) o qual evidenciou a eficiência da utilização do índice NDVI para geração de UGDs assim como histórico de mapas de colheita. Os resultados avaliados e estudados no presente trabalho corroboram com Santi & Amado (2012) e Amado *et al.* (2014), onde citam que a utilização de mapas de colheita torna-se ferramenta chave para a prospecção da variabilidade espacial da produtividade. Porém, em lavouras nas quais os principais fatores limitantes ao desenvolvimento vegetal, já terem sido aliviados, torna-se o mapa base o estabelecimento de zonas homogêneas da lavoura com distinta oferta ambiental.

Os resultados avaliados e estudados no presente trabalho corroboram com Santi & Amado (2012) e Amado *et al.* (2014), onde citam que a utilização de mapas de colheita torna-se ferramenta chave para a prospecção da variabilidade espacial da produtividade. Porém, em lavouras nas quais os principais fatores limitantes ao desenvolvimento vegetal, já terem sido aliviados, torna-se o mapa base o estabelecimento de zonas homogêneas da lavoura com distinta oferta ambiental.

5 CONCLUSÕES

O uso de mapas temáticos de índices de vegetação - NDVI, demonstraram-se efetivos para delimitação e criação de Unidades de Gestão Diferenciadas (UGDs).

O índice de vegetação NDVI teve alta correlação com a produtividade de grãos de milho caracterizando diferentes potenciais de produção intra-lote.

A caracterização dos ambientes produtivos demonstrados através das UGDs se mantiveram ao longo dos anos estudados sendo demonstrado pelos mapas temáticos de NDVI e mapas de produtividade da soja e do milho.

A variação da produtividade da cultura do milho seguiu a tendência dos potenciais produtivos das UGDs.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conjunto de informações espaciais e temporais dos ambientes agrícolas permitem aos produtores rurais compreender a variabilidade espacial dos atributos envolvidos, possibilitando melhorar o gerenciamento para uma adequada tomada de decisão que contribuirá para o aumento de produtividade e de rentabilidade de sua atividade.

A utilização de mapas de Unidades de Gestão Diferenciadas (UGDs) permite ao produtor diminuir a amplitude da variabilidade espacial do talhão e intervir de maneira localizada.

O produtor Jovane Basso relatou que através do estudo, continuou utilizando semeadura em taxa variável por UGDs e se diz muito contente com os resultados obtidos e que pretende ampliar para mais talhões da propriedade essa ferramenta. Acredita ser o caminho para uma produção com gestão e resultados otimizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. C. S.; PINTO, M. F.; SALVADOR, C. A.; MOLIN, J. P. **Métodos para a definição de unidades de gestão diferenciada**. Anais do Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão (ConBAP), 2014.
- ALVARENGA, A. S., MORAES, MF. Processamento digital de imagens LANDSAT – 8 para obtenção dos índices de vegetação NDVI e SAVI visando a caracterização da cobertura vegetal no município de Nova Lima – MG. Portal MundoGeo. Disponível em: <http://mundogeo.com/blog/2014/06/10/processamento-digital-deimagens-landsat-8-para-obtencao-dos-indices-de-vegetacao-ndvi-e-savi-visando-acaracterizacao-da-cobertura-vegetal-no-municipio-de-nova-lima-mg/> Acesso em 16/04/2017.
- AMADO, T.J.C.; PONTELLI, C.B.; SANTI, A.L.; VIANA, J.H.M. & SULZBACH, L.A.S. **Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto**. Pesq. Agropec. Bras., n. 42, pp. 1101-1110, 2007.
- AMADO, TJC; SANTI, A.L.; SCHWALBERT, R.A.; GEBERT, F.H.; TABALDI, F. **Zonas de manejo: atributos de solo e planta visando a sua delimitação e aplicação na agricultura de precisão**. Revista Plantio Direto, vol. 23, pp. 21-32, Passo Fundo, 2014.
- ANSELMINI, A. A. **População variada de híbridos de milho: uma estratégia de gestão das variabilidades espacial e temporal das lavouras**. 2016 (Tese de doutorado em Fitotecnia), Esalq-USP. 2016. 97 p. 2016.
- ARAÚJO, J. C.; VETTORAZZI, C. A.; MOLIN, J.P. **Estimativa da produtividade e determinação de zonas de manejo, em culturas de grãos, por meio de videografia aérea multispectral**. Acta Sci. Agron. Maringá, volume 27, n. 3, pp. 437-447, July/Sept., 2005.
- AZZI C. L.; SOUZA E. G.; OPAZO M. A. U.; CARNIELETTO J. C.; ROCHA D. M. Software Para Definição e Avaliação de Unidades de Manejo em Agricultura de Precisão **In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão. 2012., Ribeirão Preto. Anais...** Ribeirão Preto, 2012.
- BLAKE, J.J.; SPINK, J.H; DYER, C. Factors affecting cereal establishment and its prediction. **Reserch Review**, n. 51. Londres: Home- Grown Cereals Authority, 2003.
- BLACKMORE, B. S.; LARSCHEID, G. **Strategies for managing variability**. In: **EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE**, 1, 1997,

- Warwick, UK, Warwick; Warwick University Conference Centre. Disponível em: www.silsoe.cranfield.ac.uk/cpf/. Acesso 03 abril 2017.
- BLACKMORE, B. S., MOORE, M. 1999. Remedial correction of yield map data. **Precision Agriculture** 1, 53–66.
- BRANDÃO, Z. N.; OLIVEIRA, R. P.; SANA, R. S.; SOFIATTI, V.; ZONTA, J. H.; MEDEIROS, J. C. **Uso de imagens orbitais e suborbitais na caracterização da variabilidade espacial da produtividade**. En: Inamasu, R.; Bernardi, A. C. C. (Eds). *Agricultura de Precisão: resultados de um novo olhar*. Ed: Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP. 588p. 2014.
- BUTZEN, S., B. GUNZENHAUSER, B. E J. SHANAHAN. 2012. **Putting Variable-Rate Seeding to Work on Your Farm**. Crop Insights Vol. 1, nº 22. Pioneer Hi-Bred, Johnston, IA. Disponível em: <https://www.pioneer.com/home/site/us/agronomy/library/template>. Acesso em 03 abril 2017.
- CAMBARDELLA, C. A.; KARLEN, D. L. Spatial analysis of soil fertility parameters. **Precision Agriculture**, v. 1, n. 1, p. 5-14, 1999.
- DOERGE, T. A. “**Management zone concepts. SSMG-2**”. In: Information Agriculture Conference, Stewart Center, Purdue, IN. 1999.
- DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.L.; LOPES, P.P. **Milho: população e distribuição de plantas**. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (Ed.) **Milho: tecnologia da produtividade**. Piracicaba: ESALQ, 2001. p.120-5.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.
- ENGMAN, E. T.; SCHULTZ, G. A. Remote sensing in hydrology and water management. Ruhr – **Universitat Bochum**, Ed. Springer, 2000. p. 135-152
- FERREIRA, L. G.; YOSHIOKA, H.; HUETE, A.; SANO, E. E. Seasonal landscape and spectral vegetation index dynamics in the Brazilian Cerrado: An analysis within the Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazônia (LBA). **Department of Soil, Water, and Environmental Science**, University of Arizona, Tucson, USA, 2002.
- FLORENZANO, T. G. Iniciação em Sensoriamento Remoto. Livro, 3ª Edição. 2011.
- HONDA, B., JORGE, L. A. C. Computação Aplicada à Agricultura de Precisão. **Rev. Científica Eletrônica UNISEB**, Ribeirão Preto, v.1, n.1, p.111-132, jan./jun.2013
- HORBE, T. A. N.; AMADO, T. J. C.; FERREIRA, A. O.; ALBA, P.J. Optimization of Corn

- Plant Population According to Management Zones in Southern Brazil. **Precision Agriculture**, v.14, p.450–465, 2013.
- LANDAU, E. C.; BRANDAO, Z. N.; FARIA, C. M. Creación de mapas de manejo con datos espaciales. Manual de Agricultura de Precisión. **PROCISUR, Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur**. n. 1, pp. 74-83, 2014.
- LBA, J. F.; FLORES, C. A.; MIELE, A. Definição das zonas de manejo com base nas características do solo em viticultura de precisão: Estudo de caso no Vale dos Vinhedos, Bento Gonçalves, RS. **In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão. 2012., Ribeirão Preto. Anais...** Ribeirão Preto, 2012.
- KING, I.F., EMMONS, R.B., FRANCIS, N.J., WILD, B., MULLER, J., KINGSTON, R.E., WU, C.T. Analysis of a polycomb group protein defines regions that link repressive activity on nucleosomal templates to in vivo function. **Mol. Cell. Biol.** 25(15): 6578–6591. 2005.
- MANN, K. K.; SCHUMANN, A. W.; OBREZA, T. A. Delineating productivity zones in a citrus grove using citrus production, tree growth and temporally stable soil data. **Precision Agriculture, Secaucus**, v. 12, 4, p. 457-472, 2010.
- MENDES, F.F.; GUIMARÃES, L.J.M.; SOUZA, J.C.; GUIMARÃES, P.E.O.; MAGALHÃES, J.V.; GARCIA, A.A.F.; PARENTONI, S.N.; GUIMARÃES, C.T. Genetic architecture of phosphorus use efficiency in tropical maize cultivated in a low-P soil. **Crop Science**, v.54, p.1530-1538, 2014.
- MENEGATTI, L. A. A.; MOLIN, J. P. Metodologia para identificação e caracterização de erros em mapas de produtividade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.2, p.367-374, 2002.
- MOLIN, J.P. Agricultura de precisão, parte I: o que é e estado da arte em sensoriamento. **Engenharia Agrícola**, v. 17, p. 97-107, 1997.
- MOLIN, J.P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, v. 22, pp. 83-92, 2002.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 1a Edição. São José dos Campos. SP.. 250 pág. 2001.
- MOTOMIYA, A. V. A., MOLIN, J. P., MOTOMIYA, W. R., BAIO, F. H. R. Mapeamento do índice de vegetação da diferença normalizada em lavoura de algodão. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 42, 112-118, 2012.
- MOTTA, J. L. G.; FONTANA, D. C.; WEBER, E. **Análise da evolução temporal do**

- NDVI/NOAA em região de soja no Rio Grande do Sul.** Porto Alegre – RS, 2003. CEPSRM – UFRGS.
- ORTEGA R.A.; SANTIBANEZ O.A. Determination of management zones in corn (*Zea mays* L.) based on soil fertility. **Computers and Electronics in Agriculture**- n. 58, p. 49-59, 2007.
- POTT, L. P.; SEBEM, E.; AMADO, T. J. C. Tecnologias para detecção e controle em sítio-específico de plantas daninhas. **In: Agricultura de precisão no Rio Grande do Sul. 1ª Edição. Santa Maria: CESPOL, 2016, v.1, p. 159-187.**
- RAGAGNIN, V. A.; SENA JÚNIOR, D. G.; SILVEIRA NETO, A. N. Recomendação de calagem a taxa variada sob diferentes intensidades de amostragem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.600-607, 2010.
- RODRIGUES, E. L. et al. Avaliação da cobertura vegetal por meio dos índices de vegetação SR, NDVI, SAVI e EVI na sub-bacia do Vale do Rio Itapeçerica, Alto São Francisco, em Minas Gerais. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, Paraná. 2013. p. 1472-1479.
- RODRIGUES, J. B. T.; ZIMBACK, C. R. L. Delimitação de zonas de manejo através da análise e classificação de mapas de produtividade de milho e soja. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 17, n. 1, p. 44- 61, 2002.
- RODRIGUES, J. B. T.; ZIMBACK, C. R. L. Delimitação de zonas de manejo através da análise e classificação de mapas de produtividade de milho e soja. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 17, n. 1, p. 44- 61, 2002.
- SALVADOR, A. & ANTUNIASSI, U. R. Imagens aéreas multiespectrais na delimitação de zonas de manejo em áreas de algodão para aplicação localizada de insumos. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu-SP, n.2, 2011, p.1-19.
- SANGOI, L. A compreensão dos efeitos da densidade de plantas sobre o crescimento e desenvolvimento do milho é importante para maximizar o rendimento de grãos. **Cienc. Rural** vol.31 no.1 Santa Maria Jan./Feb. 2000.
- SANGOI, L.; GRACIETTI, M.A.; RAMPAZZO, C. & BIANCHETTI, P. Response of Brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant density. **Field Crops Research**, v.79, p.39-51, 2002.
- SANTI, A. & AMADO, T. População de plantas de milho e oferta ambiental. **Revista a Granja**, 2012, p.41-43.
- SERPA, M.S. Adequação da densidade das plantas de milho à disponibilidade hídrica em semeadura no final do inverno. **Dissertação- Mestrado** em Fitotecnia, Faculdade de

- Agronomia, UFRGS. Porto Alegre, 2011.
- SLATER, P. N.; DOYLE, F. J.; FRITZ, N. L.; WELCH, R. Photographic systems for remote sensing. **In: Manual of remote sensing**. 2 ed. ASP, 1983. v. 1, cap. 6, p.231-291.
- M. SPEKKEN, M.; ANSELMINI, A.A.; MOLIN, J.P. A simple method for filtering spatial data. **Biosystems Engineering Department**, University of São Paulo. Piracicaba, 2013.
- VALERIANO, D. M. Interações da radiação solar com a vegetação. São José dos Campos: INPE, 36 p. 1988.
- VEIVERBERG, K. T. Delineamento de zonas potenciais para manejo diferenciado em nível de talhão a partir de dados de colheita e de imagens de satélite. **Dissertação de mestrado**. Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissionalizante em Agricultura de Precisão, UFSM. 2016.