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

DELINEAMENTO DE ZONAS POTENCIAIS PARA MANEJO DIFERENCIADO EM NÍVEL DE TALHÃO APARTIR DE DADOS DE COLHEITA E DE IMAGENS DE SATÉLITE

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Kelly Taline Veiverberg

Santa Maria, RS, Brasil
2016

DELINEAMENTO DE ZONAS POTENCIAIS PARA MANEJO DIFERENCIADO EM NÍVEL DE TALHÃO APARTIR DE DADOS DE COLHEITA E DE IMAGENS DE SATÉLITE

Kelly Taline Veiverberg

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional do Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Área de Concentração em Geotecnologias Aplicadas à Agricultura de Precisão, 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. Elódio Sebem

Santa Maria, RS, Brasil.
2016

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

A comissão examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado.

DELINEAMENTO DE ZONAS POTENCIAIS PARA MANEJO DIFERENCIADO EM NÍVEL DE TALHÃO APARTIR DE DADOS DE COLHEITA E DE IMAGENS DE SATÉLITE

elaborada por
Kelly Taline Veiverberg

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agricultura de Precisão

COMISSÃO EXAMINADORA:

Elódio Sebem, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Luciano Zucuni Pes, Dr. (UFSM)

Ademir Wendling, Dr. (Base Precisão na Agricultura)

Santa Maria, 26 de abril de 2016.

DEDICATÓRIA

Fonte: Arquivo pessoal

Mensagem: Se você tem uma família que te ama, alguns bons amigos, comida na mesa e um teto sobre a cabeça, então você é mais rico do que pensa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelas bênçãos que colocou em minha vida. Todas contribuíram para meu sucesso e para me tornar uma pessoa cada vez melhor.

Aos meus pais João Alberto e Clarice Veiverberg que com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

À minha irmã Cátia Aline Veiverberg por estar sempre disposta a me apoiar e auxiliar em cada momento da vida.

Aos meus colegas da empresa BASE Precisão na Agricultura pelo apoio, incentivo e pelo suporte nos momentos que estive ausente no decorrer do curso, pela disponibilização dos dados e também do conhecimento compartilhado.

Ao proprietário da fazenda São Diogo, Ilton Balzan, e aos funcionários que colaboraram com informações e disponibilizaram os dados para realização do estudo.

Ao professor orientador Elódio Sebem pelo incentivo e auxílio para ingressar no curso, auxiliando com seus ensinamentos didáticos para vencer este grande desafio.

Aos amigos de uma vida Pedro Falcão Fernandes e família, por todo apoio dado desde o inicio de minha caminhada acadêmica, se fazendo presente como uma segunda família no suporte e incentivo.

Aos amigos e amigas do coração pela paciência e consideração nos momentos de ausência em que me dedicava a encerrar mais esse ciclo da vida profissional.

Ao colega e amigo Carlos Alexandre Streck pelo apoio e parceria no decorrer do curso.

A Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade de cursar o Mestrado Profissionalizante em Agricultura de Precisão.

A Coordenação e docentes do PPGAP, pela oportunidade de busca do conhecimento.

A todos os colegas de turma do Mestrado PPGAP, companheirismo e troca de experiências fundamentais para o enriquecimento profissional.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para o alcance desta conquista.

E se a vitória não chegar desta vez,
Chegará da próxima.
E se não chegar da próxima,
Chegará mais para a frente.
O pior não é cair, é ficar preso ao chão.

Paulo Coelho

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão
Universidade Federal de Santa Maria

DELINEAMENTO DE ZONAS POTENCIAIS PARA MANEJO DIFERENCIADO EM NÍVEL DE TALHÃO APARTIR DE DADOS DE COLHEITA E DE IMAGENS DE SATÉLITE

Autora: Kelly Taline Veiverberg
Orientador: Elódio Sebem
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 26 de fevereiro de 2016.

A agricultura de precisão surge para auxiliar o produtor na escolha das melhores estratégias de manejo, permitindo identificar a variabilidade presente na área e, a partir disso, averiguar os fatores limitantes e propor alternativas de manejo diferenciado, de acordo com as necessidades de cada zona de manejo. É necessário criar instrumentos que respondam a uma das principais questões, comum a todos aqueles que têm ambição à adoção e aplicação de técnicas de modernização da produção: a viabilização técnica-econômica da produção moderna na agricultura. O objetivo deste trabalho foi relacionar mapas de Estabilidade de Rendimento por produtividade e de Estabilidade de Rendimento por Índice de Vegetação por Diferença Normalizada para determinação de zonas de manejo. O estudo foi baseado na análise de cinco anos de dados de produtividade, em rendimento absoluto, e consecutivamente, cinco imagens de satélite Landsat 5 e Landsat 8, para Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), dados referentes aos anos de 2007 (cultura do trigo), 2008 (cultura de soja), 2009 (cultura de soja), 2013 (cultura de trigo) e 2014 (cultura de soja). Com esses dados processados foram gerados os mapas de Estabilidade de Rendimento por Produtividade e Estabilidade de Rendimento por NDVI, seguindo parâmetros de dados relativizados e coeficiente de variação. Com os dois mapas de Estabilidade processados, foi feito o comparativo e validação dos dados através do índice Kappa. Como resultado obteve-se um índice Kappa de fraca relação com valor de 0,2623, porém 57,48% da área pode ser classificada corretamente quando comparando zonas geradas por mapas de produtividade com zonas geradas por mapas de NDVI. Concluiu-se, assim, que o cruzamento dos dados das zonas classificadas em Estabilidade de Rendimento por Produtividade e Estabilidade de Rendimento por NDVI é válido e que o método de definição de zonas por Estabilidade de Rendimento por NDVI permite determinar zonas, porém com maior ênfase em zonas classificadas como “Estável Alta”.

Palavras-chave: Mapas de produtividade, Zonas de manejo, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada.

ABSTRACT

Master´s Thesis
Graduate Studies Programm of Precision Farming
Federal University of Santa Maria

DESIGN AREAS FOR POTENTIAL MANAGEMENT IN DIFFERENTIAL FIELD LEVEL HARVEST DATA FROM AND SATELLITE IMAGES

Author: Kelly Taline Veiverberg
Advisor: Elódio Sebem
Local and Day of Defense: Santa Maria, February, 26 rd 2016.

Precision agriculture has been used to assist farmers to choose the best management strategies, by identifying variability present in the area and from that, to determine the limiting factors and propose different management alternatives, according to the needs of each zone. It is important to create instruments that respond to one of the main issues, common to all of those who have ambition to the adoption and implementation of production modernization techniques: the technical and economic viability of modern production agriculture. The aim of this study was to relate stability maps for yield productivity and stability maps by Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for determination of management zones. The study was based on an analysis of five years of crop yield data and five satellite images Landsat 5 and Landsat 8 for Vegetation Index (NDVI) data for 2007 (wheat), 2008 (soybean), 2009 (soybean), 2013 (wheat) and 2014 (soybean). With processed data, stability maps for yield productivity and stability maps by Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) were generated, following data parameters and coefficient of variation. Both maps were compared and validated by the Kappa index. As a result, we obtained a weak Kappa index relationship (0.2623), but 57.48% of the area could be classified correctly, when comparing the correlation maps. We concluded that crossing data of areas classified by productivity yield and NDVI is valid and that the zoning method for NDVI method is a way to determines areas, but with greater emphasis in areas classified as "Stable High."

Keywords: Yield maps, Management Zones, Normalized Difference Vegetation Index.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comprimento de onda no espectro eletromagnético. 19

Figura 2 - Localização da área de estudo 27

Figura 3 - Crescimento fenológico e espectralidade temporal 29

Figura 4 - Precipitação - Safra de Trigo 2017 35

Figura 5 - Mapas de Rendimento Absoluto (A), Mapa de NDVI (B) – Safra de Trigo 2007 36

Figura 6 - Precipitação Safra de Soja 2007/2008 36

Figura 7 - Mapas de Rendimento Absoluto (A), Mapa de NDVI (B) – Safra de Soja 2008 37

Figura 8 - Precipitação Safra de Soja 2008/2009 38

Figura 9 - Mapas de Rendimento Absoluto (A), Mapa de NDVI (B) – Safra de Soja 2009 38

Figura 10 - Precipitação Safra de Trigo 2013 39

Figura 11 - Mapas de Rendimento Absoluto (A), Mapa de NDVI (B) – Safra de Trigo 2013 39

Figura 12 - Precipitação Safra de Soja 2014 40

Figura 13 - Mapas de Rendimento Absoluto (A), Mapa de NDVI (B) – Safra de Soja 2014 41

Figura 14 - Mapa de Estabilidade de Rendimento por Produtividade (A), Mapa de Estabilidade de Rendimento por NDVI (B) 42

Figura 15 - Estabilidade de Rendimento por Produtividade (A), Estabilidade de Rendimento por NDVI (B) - Comparativo das zonas de manejo. 44

Figura 16 - Mapa de altitude da região avaliada 44

Figura 17 - Cruzamento dos dois mapas 46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Valores de concordância do Índice *Kappa* 25

Tabela 2 - Relação de aquisição dos dados de produtividade 28

Tabela 3 - Relação de aquisição das imagens de satélite 29

Tabela 4 - Bandas Espectrais do visível e infravermelho próximo das imagens do satélite Landsat 5 e Landsat 8 30

Tabela 5 - Médias de rendimento absoluto e NDVI por safra 34

Tabela 6 - Matriz de confusão de cruzamento dos dados 43

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 14
1.1 OBJETIVOS 15
1.1.1 Objetivo geral 15
1.1.2 Objetivos específicos 15
2. REVISÃO DA LITERATURA 16
2.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO 16
2.2 MAPEAMENTOS DE PRODUTIVIDADE 17
2.3 SENSORIAMENTO REMOTO E IMAGENS DE SATÉLITE 19
2.4 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO 20
2.5 ZONAS DE MANEJO 22
2.6 GEOSTATÍSTICA 23
3. MATERIAL E MÉTODOS 26
3.1 DESCRIÇÕES DA ÁREA EXPERIMENTAL 26
3.2 DEFINIÇÃO DOS DADOS UTILIZADOS PARA A ANÁLISE 28
3.3 OBTENÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITE 28
3.4 DETERMINAÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DOS DADOS DE PRODUTIVIDADE 30
3.5 ESTRUTURAÇÃO DOS MAPAS DE ÍNDICE DE VIGOR VEGETATIVO – NDVI 31
3.6 ESTRUTURAÇÃO DO MAPA DE ESTABILIDADE DE RENDIMENTO POR PRODUTIVIDADE E ESTABILIDADE DE RENDIMENTO POR NDVI 31
3.7 CRUZAMENTO DOS MAPAS DE ESTABILIDADE DE RENDIMENTO POR PRODUTIVIDADE E ESTABILIDADE DE RENDIMENTO POR NDVI - TRATAMENTO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS 32
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 34
4.1 MAPAS DE RENDIMENTO ABSOLUTO DAS PRODUTIVIDADES E MAPAS DE NDVI 34
4.1.1 Cultivo de Trigo no ano de 2007 35
4.1.2 Cultivo de Soja no ano de 2007/2008 36
4.1.3 Cultivo de Soja – Safra 2008/2009 37
4.1.4 Cultivo de Trigo no ano de 2013 38
4.1.5 Cultivo de Soja no ano de 2014 40
4.2 ESTABILIDADE DE RENDIMENTO 41
4.3 CRUZAMENTO DE MAPAS DE ESTABILIDADE DE RENDIMENTO POR PRODUTIVIDADE E ESTABILIDADE DE RENDIMENTO POR NDVI 42
5. CONCLUSÕES 47
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 48
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 49

1. INTRODUÇÃO

No cenário brasileiro, a modernização e melhorias na produção são essenciais ao desenvolvimento e evolução do setor agrícola. Com esse intuito, a Agricultura de Precisão (AP) surge como ferramenta importante no gerenciamento das atividades agrícolas, sendo caracterizada como parâmetro para tomada de decisão e avaliação da capacidade produtiva das lavouras agrícolas.

Há a necessidade do aumento da eficiência de todos os setores da economia globalizada para manter a competitividade; para a agricultura, não poderia ser diferente. A evolução da informática, tecnologias em geoprocessamento, sistemas de posicionamento global e outras tecnologias estão proporcionando à agricultura uma nova forma de se enxergar a propriedade, deixando de ser uma somente e sim várias propriedades dentro da mesma, porém com características específicas. Além disso, a agricultura de precisão surge para auxiliar o produtor na escolha das melhores estratégias de manejo, permitindo identificar a variabilidade presente na área e, a partir disso, averiguar os fatores limitantes, propondo alternativas de manejo diferenciado de acordo com as necessidades de cada zona de manejo (PES et al., 2006).

Recentemente, tem crescido o interesse dos produtores pela adoção da agricultura de precisão como ferramenta capaz de aumentar a sustentabilidade dos sistemas de produção. Swinton e Lowenber-Deboer (1998) definem o termo agricultura de precisão como sendo um elenco de tecnologias e procedimentos utilizados para que as lavouras e os sistemas de produção sejam otimizados, tendo como base o gerenciamento da variabilidade espacial da produção e dos fatores que a determinam.

Dentre as tecnologias de agricultura de precisão existentes temos o sensoriamento remoto, que permite, por meio da resposta espectral dos cultivos agrícolas, detectar condições de estresse em plantas, determinar a variabilidade do tipo e dos parâmetros do solo, avaliar as condições vegetais e, consequentemente, a determinação de zonas homogêneas de manejo (DAIANESE, 2005).

A definição de zonas homogêneas de manejo vem tendo um custo elevado, já que é baseada na intensa amostragem de solos e no mapeamento de produtividade de cada colheita. Assim, revela-se um dos problemas-chave da agricultura de precisão, que é a necessidade de uma grade de amostragem densa, a fim de se detectar a variabilidade espacial do atributo em estudo e possibilitar a geração de mapas que representem, de

maneira real, tal área. Para Molin (2002), um dos grandes desafios da AP ainda é oferecer subsídios para definição de unidades de manejo para posteriores intervenções. Pesquisadores como Carvalho (2001), Molin (2002) e Gimenes e Molin (2002) utilizaram informações de produtividade para definir unidades de manejo com relativo sucesso.

É necessário criar instrumentos que respondam a uma das principais questões, comum a todos aqueles que têm ambição a adoção e aplicação de técnicas de modernização da produção: a viabilização técnica-econômica da produção moderna na agricultura. Esse estudo pretende dar subsídios que permitam selecionar ferramentas da agricultura de precisão e tecnologias mais adequadas para a viabilização técnica da implantação de zonas de manejo na Agricultura de Precisão.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Relacionar mapas de Estabilidade de Rendimento por produtividade e de Estabilidade de Rendimento por Índice de Vegetação por Diferença Normalizada para determinação de zonas de manejo.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar e interpretar mapas de produtividade para determinação de zonas de manejo com quatro classes de potencial produtivo: Estável alto, Estável baixo, Médio e Instável;
- Avaliar e interpretar mapas de NDVI obtidos por sensoriamento remoto para determinação de zonas de manejo com quatro classes de potencial produtivo: Estável alto, Estável baixo, Médio e Instável;
- Relacionar as zonas de manejo obtidas por NDVI com as zonas de manejo obtidas pelos mapas de produtividade;
- Verificar a viabilidade técnica da utilização de mapas de Estabilidade de Rendimento por NDVI.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO

A agricultura de precisão é um sistema de manejo agrícola que reconhece a existência da variabilidade no campo, onde a aplicação de fertilizantes e pesticidas é diferenciada entre zonas de manejo, áreas consideradas homogêneas que recebem o mesmo tratamento em toda sua extensão (CORÁ et al., 2004). Trata-se de um gerenciamento agrícola em que parte do registro georreferenciado de informações de solo e de culturas se completam com intervenções de manejo localizado (AMADO; SANTI, 2007).

O conceito de agricultura de precisão possui definições variadas. Segundo a EMBRAPA (1997), o termo engloba o uso de tecnologias atuais para o manejo de solo, insumos e culturas, de modo adequado às variações espaciais e temporais em fatores que afetam a produtividade das mesmas. Para PONTELLI (2006), é uma ferramenta tecnológica que proporciona a exploração de todos os componentes do sistema solo de uma forma precisa e individual, permitindo a realização de correlações posteriores entre os atributos do solo e conseqüentemente o diagnóstico de problemas específicos que poderão receber tratamentos diferenciados.

A agricultura de precisão caracteriza-se pela elevada quantidade de informações disponibilizadas, podendo contribuir para o estabelecimento de relações espaciais de atributos de solo com a produtividade das culturas (AMADO e GIOTTO, 2009).

Segundo Cambardella e Karlen (1999), a Agricultura de Precisão contém três componentes primários: o sistema de posicionamento global (GPS), 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 e; um banco de dados que fornece a informação necessária para desenvolver as relações de causa efeito e as respostas à aplicação de insumos a várias condições especificamente localizadas. A tecnologia essencial à agricultura de precisão baseia-se na coleta de informações sobre atributos químicos e físicos dos solos, condições da cultura, do terreno e da produtividade, associados a sua localização, as quais podem ser expressas na forma de mapas digitais (REIS, 2005). Entender como a distribuição espacial desses atributos funciona é importante para o estabelecimento de práticas de manejo adequadas, não

somente à otimização da produtividade agrícola, mas também para a minimização de possíveis danos ambientais. O mapeamento dessas características depende, ainda, de grande número de amostras de solos e de custo elevado, incluída as análises laboratoriais, o que pode ser impraticável em muitas lavouras.

Segundo Capelli (2004) a agricultura de precisão apresenta a vantagem de possibilitar um melhor conhecimento do campo de produção, permitindo, desta forma a tomada de decisões melhor embasadas. Com isto, tem-se uma maior capacidade e flexibilidade para a distribuição dos insumos naqueles locais e no tempo em que são mais necessários, minimizando os custos de produção. A uniformidade na produtividade é alcançada pela correção dos fatores que contribuem para sua variabilidade obtendo-se, com isto, um aumento global da produtividade.

2.2 MAPEAMENTOS DE PRODUTIVIDADE

A geração de mapas de rendimento do talhão já é uma prática bastante comum, onde o monitoramento da produtividade é considerado o primeiro passo na implantação da Agricultura de Precisão. Segundo Gimenez e Molin (2002), no Brasil, em algumas áreas onde a tecnologia vem sendo estudada, já se tem mapas de produtividade há alguns anos.

Os mapas de produtividade podem ser utilizados na prospecção das causas da variabilidade e, consequentemente, podem ser eficazes na formulação de soluções para os fatores limitantes (MOLIN, 1997; MANTOVANI, 2006). Parte da variabilidade registrada pelos mapas de produtividade pode ser atribuída a fatores constantes, ou que variam pouco temporalmente, enquanto outros fatores são transitórios, variando sua importância de uma safra para outra (CAPELLI, 2004; DURIGON, 2007). O mapeamento da produtividade é considerado, por muitos pesquisadores, como sendo uma parte essencial da agricultura de precisão (MAKEPEACE, 1996). Tylén et al. (1997) consideraram que o mapa de produtividade é um dos métodos mais corretos para estimar a heterogeneidade de um campo. Entretanto SCHULLER et al. (1998) alertam para o fato de que as informações são disponibilizadas somente após a produtividade agrícola já ter sido afetada, servindo então para auxiliar na tomada de decisões futuras. Segundo Capelli (2004) a interpretação do mapa de produtividade é imprescindível para a correção dos fatores de produção que persistem ao longo do tempo.

Dentre os fatores relevantes, os mapas de produtividade são a informação mais completa para visualizar a variabilidade espacial das lavouras (MOLIN, 2002). Eles são gerados a partir de dados coletados por uma colhedora que inclui um sistema de posicionamento global (GPS) com um sistema de sensores que estimam a produtividade em toneladas de grão colhido (ALBARENQUE, 2011; VELÉZ, 2011). Porém, para que esse processo seja eficiente é necessário que haja um sistema de registros para máquinas agrícolas, que tenha capacidade de registrar dados de produtividade georreferenciados. Molin (1997) reforça que essa informação é o ponto de partida tido por usuários e pesquisadores para visualizar a variabilidade espacial das lavouras, por materializar a resposta da cultura. Várias outras ferramentas estão sendo propostas e testadas, tais como as fotografias aéreas, as imagens de satélite e a videografia, visando identificar manchas com valores distintos de produção em uma área (MOLIN, 2002). O monitoramento de culturas agrícolas por imagens de satélites é a utilização dos índices de vegetação, definidos como combinações de dados espectrais de duas ou mais bandas (MOREIRA, 2000).

Para Molin (2002) é necessário haver consistência temporal para a definição correta de unidades de manejo diferenciadas; portanto, a análise individual de mapas é restritiva e pode não representar, com autoridade, tais zonas. Ainda, o uso de vários mapas de produtividade para a definição e consolidação de zonas com distintos potenciais produtivos parece ser a maneira mais eficiente para caracterizar a variabilidade das lavouras (MOLIN, 2002; MILANI et al., 2006; SUSZEK et al., 2011).

De acordo com Santi (2007), a caracterização da variabilidade da produtividade deve ser feita mediante a investigação de pelo menos três anos de mapeamento. Blackmore et al. (2003) destacam que na avaliação da variabilidade da produtividade se faz necessário acompanhamento e análise de mapas, considerando um histórico de várias safras e de diferentes culturas para que sejam contempladas as variabilidades temporal e espacial.

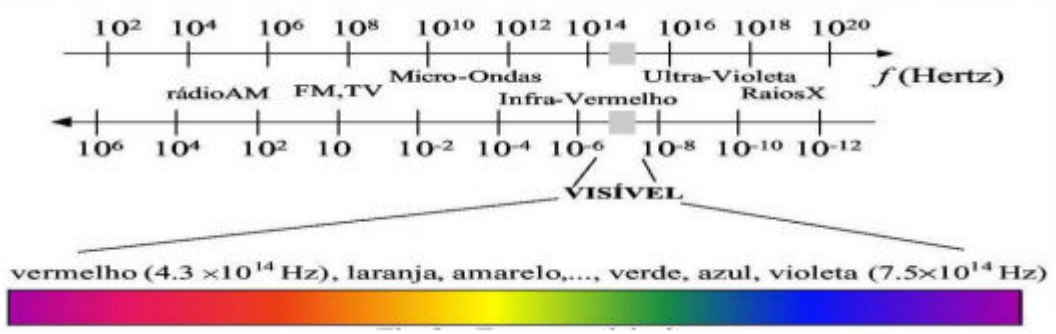
A análise exploratória dos dados antes de serem submetidos à análise geoestatística, é de suma importância e tem o objetivo de identificar previamente os dados discrepantes, a normalidade de distribuição de frequência e a variação nos dados. Muitas vezes os valores discrepantes ocorrem por problemas de erro de amostragem, mau contato do sensor utilizado para a medida, entre outros.

Os dados brutos obtidos devem ser cuidadosamente analisados antes da elaboração de um mapa de produtividade (MISSOTTEN et al., 1996). Segundo Menegatti e Molin (2004), o processo de filtragem e extração dos pontos considerados errôneos eleva o nível qualitativo da informação contida em mapas de produtividade, qualquer que seja o monitor utilizado para a coleta de dados.

2.3 SENSORIAMENTO REMOTO E IMAGENS DE SATÉLITE

O sensoriamento remoto pode ser entendido como a utilização de sensores para coletar informações dos alvos sem que haja um contato físico com ele. Essas informações são obtidas pelos sensores, posicionados em longas ou curtas distâncias, através da captura das ondas eletromagnéticas, também denominada radiação eletromagnética, que são emitidas ou refletidas pelos objetos. A radiação é ordenada no espectro eletromagnético de acordo com seu comprimento e frequência (Figura 1). Desta forma, cada sensor é responsável pela captação da intensidade de radiação do objeto, resposta espectral, compondo imagens e dados a respeito do alvo (HONDA e JORGE, 2013)

Figura 1 - Comprimento de onda no espectro eletromagnético.



FONTE: http://www.vision.ime.usp.br/~ronaldo/mac0417-03/aula_02.html

O Sensoriamento Remoto é apontado como possível técnica alternativa à atual metodologia para elaboração de mapas de produtividade, por meio de colhedoras instrumentadas. 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).

Conforme Motomiya et al. (2012), os dados de sensoriamento remoto, tais como imagens de satélite, fotografias aéreas e radiometria de campo, podem fornecer informações precisas da variabilidade do campo, em grandes áreas, por apresentarem potencial para o monitoramento de parâmetros biofísicos ligados à produtividade, ao longo de todo o ciclo de desenvolvimento da cultura.

Muitos pesquisadores já utilizaram dados para estimar parâmetros das culturas, tais como radiação fotossinteticamente ativa e índice de área foliar (Baret e Guyot 1991), conteúdo de clorofila nas folhas (Tumbo et al. 2002), conteúdo de nitrogênio (Solie et al. 2002, Motomiya et al. 2009) e muitas outras propriedades químicas da vegetação.

Para a agricultura de precisão, 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 (NIR), por exemplo, permite verificar o estado nutricional da cultura, através da análise do comportamento espectral (HONDA e JORGE, 2013)

Hoje em dia, assumindo uma série de funções anteriormente atendidas pela aerofotogrametria, o sensoriamento remoto multiespectral apresenta uma série de vantagens, a saber: baixo custo por área específica; aspectos diacrônicos (alta freqüência de repetitividade da tomada de imagens) e sincrônicos da captação das imagens; aspecto multiespectral das imagens; caráter digital dos dados adquiridos; e facilidade de integração com bases de dados geocodificados, cartográficos ou numéricos, através de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) (AZEVEDO e MANGABEIRA, 2001).

2.4 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO

Desde a década de 1960, a comunidade científica tem buscado desenvolver técnicas aplicadas aos produtos do sensoriamento remoto que sejam capazes de monitorar a cobertura vegetal em grande escala, a partir da utilização de imagens,

sobretudo, orbitais (RODRIGUES, et al. 2013). Essa busca se deve à necessidade contínua de avaliação e acompanhamento dos recursos vegetais, imprescindíveis à população mundial.

Os índices de vegetação são operações algébricas que envolvem faixas de reflectância específicas, permitindo determinar a cobertura vegetal e a sua densidade (Cruz et al., 2011). Segundo Moreira (2000), 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.

Existem inúmeros índices de vegetação para o estudo da quantidade de biomassa verde e dos parâmetros de crescimento e desenvolvimento da vegetação. Estes índices são ferramentas geradas por técnicas de sensoriamento remoto que têm sido amplamente empregados em diversos trabalhos, e buscam relacionar as informações captadas pelos sensores com a vegetação presente na área imageada (RIBEIRO, 2012). Desta forma, um índice de vegetação resulta da combinação dos valores de reflectância em dois ou mais intervalos de comprimento de onda, possuindo uma relação com a quantidade e o estado da vegetação em uma dada área da superfície terrestre (JUNGS, et al. 2007).

Outro ponto relevante sobre a utilização dos índices de vegetação é que estes índices, de maneira geral, realçam o comportamento espectral da vegetação presente na imagem, correlacionando-se com os aspectos biofísicos como biomassa, Índice de Área Foliar (IAF), vigor da vegetação, cobertura do solo, atividade fotossintética, dentre outros aspectos (ALVARENGA, 2014). Esses 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.

Uma característica inerente aos índices de vegetação é a redução no volume dos dados a ser analisado, pois praticamente toda a informação referente à vegetação fica resumida a somente um valor numérico. Este fato facilita o monitoramento e o estudo do crescimento/desenvolvimento da vegetação, e, também, uma eventual inserção dessa informação em modelos de análise espacial (RIZZI, 2004).

Um importante índice de vegetação é o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* - Índice de Vegetação de Diferença Normalizada), desenvolvido por

Rouse et al. (1973), o qual consiste em uma razão e tem como variáveis as bandas do vermelho e infravermelho próximo, como se segue:

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

Onde:

IVP: valor da reflectância da banda no Infravermelho próximo

V: valor de reflectância da banda no vermelho

2.5 ZONAS DE MANEJO

Uma zona de manejo é definida como uma sub-região do campo que apresenta uma combinação de fatores limitantes de produtividade e de qualidade, para a qual se pode aplicar uma dose uniforme de insumos. A definição de zonas de manejo torna mais fácil a aplicação das técnicas de agricultura de precisão, uma vez que podem ser empregadas técnicas distintas no manejo das culturas (RODRIGUES JUNIOR et al, 2011).

Luchiari Junior et al. (2000) conceituam zonas de manejo como sendo áreas do terreno de iguais produção potencial, eficiência do uso de insumos e risco de impacto ambiental. Ainda, salientam que novas abordagens, como zonas homogêneas de manejo, mostraram-se promissoras para indicar os locais nos quais as amostragens deveriam ser feitas.

Existem diferentes ferramentas que auxiliam na definição das unidades de manejo. Johannsen et al. (2000) apresentam uma visão do uso combinado do sensoriamento remoto para obter índices de vegetação associados a outros recursos, como a amostragem de solo em grade e condutividade elétrica do solo. Com isso, é possível identificar regiões de maior e menor estresse das plantas (falta ou excesso de água, pressão por invasoras, efeitos da erosão ou deficiência de nutrientes).

Fleming et al. (1999) utilizaram fotos aéreas em solo nu para que o agricultor traçasse as unidades de manejo com base na cor do solo, topografia e experiência pessoal. Uma análise de agrupamento de parâmetros de fertilidade química, textura e condutividade elétrica do solo mostraram boa reprodutividade nas regiões demarcadas (MOLIN, 2002).

O manejo por talhões da propriedade (Coelho, 2003) e a identificação de zonas de manejo dentro das áreas de cultivo (Molin, 2002; Araújo, 2004; Luchiari Junior et al., 2004) vêm sendo propostos como estratégias potencialmente viáveis para a implementação da agricultura de precisão em escala comercial no Brasil.

Para Vilena et al. (2010), critérios baseados em características topográficas da área, atributos do solo, mapas de produtividade, mapas de condutividade elétrica, histórico da área, além de critérios conjugados, podem ser utilizados para orientar a delimitação de zonas de manejo e os locais para as amostragens de interesse.

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 identifica as áreas que são estáveis (ou têm sido altamente variáveis) no período considerado (Blackmore e Larscheid, 1997).

Nesse contexto, pode-se citar que estabilidade de rendimento se refere à caracterização da consistência de uma cultura numa escala espaço-temporal. Pode ser considerado um cálculo de rendimento do talhão, onde é feita a relativização dos rendimentos por ano. Após isso, é feito o cálculo da diferença média relativa entre os anos. Com os resultados da diferença é realizada a classificação dos dados em zonas de estabilidade “estável alta”, “estável baixa”, “média” e “instável” (STAGGENBORG, 2010).

2.6 GEOSTATÍSTICA

Geoestatística é um ramo da estatística que utiliza conceito de variáveis regionalizadas na avaliação de variabilidade espacial. Não se limita apenas em obter um modelo de dependência espacial, pretende também estimar valores de pontos nos locais onde não foram coletados (SRIVASTAVA, 1996; GOOVAERTS, 1997). O uso da geoestatística permite que a estrutura da dependência espacial seja modelada e visualizada espacialmente (MENDES et al., 2008).

Segundo Trangmar et al. (1985), Gonçalves (1997) e Fietz et al. (1999), a estatística clássica assume que a variabilidade de uma propriedade do solo ou planta em torno dos valores médios é aleatória e independente da posição espacial. No entanto, VIEIRA et al. (1981) demonstraram que a variabilidade das propriedades do solo é

dependente de sua separação, ou seja, dentro de certo domínio, as diferenças entre os valores de uma propriedade do solo pode ser expressa em função da distância de separação entre elas.

Com a geoestatística, pode-se estimar o valor de uma dada propriedade para um local onde não foi medida, utilizando uma função de correlação espacial entre os dados sem viés e com variância mínima (VIEIRA, 2000). Para estimar esses valores, comumente se usa o método de interpolação por *krigagem*, cujo nome foi dado em homenagem a Daniel G. Krige. *Krigagem* consiste em ponderar os vizinhos mais próximos do ponto a ser estimado, obedecendo aos critérios de não tendenciosidade, que significa que em média a diferença entre valores estimados e observados para o mesmo ponto dever ser nula e ter mínima variância, ou seja, que os estimadores possuam a menor variância dentre todos os estimadores não tendenciosos.

Um fator primordial para aplicação da geoestatística, que a agricultura de precisão contempla, é a obtenção de dados com as correspondentes coordenadas geográficas. Os dados georreferenciados podem ser obtidos por meio de coleta *in loco*, mapas temáticos, imagens de satélite ou fotografias aéreas (GREGO, et al. 2014).

Ainda segundo Grego et al. (2014), na agricultura de precisão, a possibilidade de gerar mapas relacionados aos sistemas de produção agrícola, tem permitido a identificação de zonas homogêneas e consequentemente a aplicação de insumos e manejos localizados, auxiliando a tomada de decisão por parte do produtor. Contudo, isto só é possível considerando a variabilidade espacial dos fatores envolvidos e a geoestatística é sabidamente uma ótima ferramenta para este fim.

O coeficiente de variação (CV) obtido da análise de variância de um ensaio experimental indica o grau de precisão do experimento. Com base nos coeficientes estimados nos ensaios realizados no campo, Pimentel-Gomes (1985) classificou-os como baixos, quando inferiores a 10%; médios, quando de 10% a 20%; altos, quando de 20% a 30%, e muito altos, quando superiores a 30%.

Dentro da geoestatística, um método eficiente de comparação entre mapas no formato *Raster* é fazer uma sobreposição e uma avaliação "pixel-a-pixel", de modo a identificar as áreas de concordância entre os mapas, dois a dois. Para expressar o grau de concordância entre os mapas classificados em um único valor, usa-se o índice *Kappa* (Landis e Koch 1997). O índice kappa foi determinado para avaliar a significância do desempenho da classificação, conforme Congalton e Mead (1986). O maior índice

kappa entre duas classificações ocorre quando a concordância é maximizada (KITCHEN et al., 2005).

O índice *Kappa* é um coeficiente de concordância que informa o acerto da variação intra e interobservador, sendo utilizado quando dois observadores classificam separadamente uma amostra de objetos empregando a mesma escala de classes. Normalmente um dos observadores é a referência real ou verdade. O valor de concordância do índice *Kappa* é classificado conforme Tabela 1.

Tabela 1- Valores de concordância do Índice *Kappa*

Índice *Kappa*	Concordância
< 0	Sem concordância
0,00 a 0,19	Pobre
0,20 a 0,39	Fraca
0,40 a 0,59	Moderada
0,60 a 0,79	Forte
0,80 a 1,00	Excelente

Fonte: Processo de Validação – Spring 5.0 – INPE

Segundo Congalton (1991), uma das técnicas mais utilizadas na realização de avaliação de acurácia da classificação de dados de sensoriamento remoto é o emprego da matriz de erro, também conhecida como matriz de confusão. A matriz de confusão pode ser usada como ponto de partida para uma série de técnicas estatísticas descritivas e analíticas. A matriz de confusão é uma matriz quadrada de números definidos em linhas e colunas que expressam o número de unidades da amostra (pixels, grupos de pixels ou polígonos) atribuído a uma categoria particular relativo à categoria atual, conforme foi verificado em campo. Geralmente, as colunas de uma matriz de erros representam o dado de referência, enquanto que as linhas indicam a classificação gerada a partir de dados de sensoriamento remoto. Este instrumento possui a finalidade de identificar o erro global da classificação para cada categoria, mostrando também como se deram as confusões entre as categorias (BRITES, 1996).

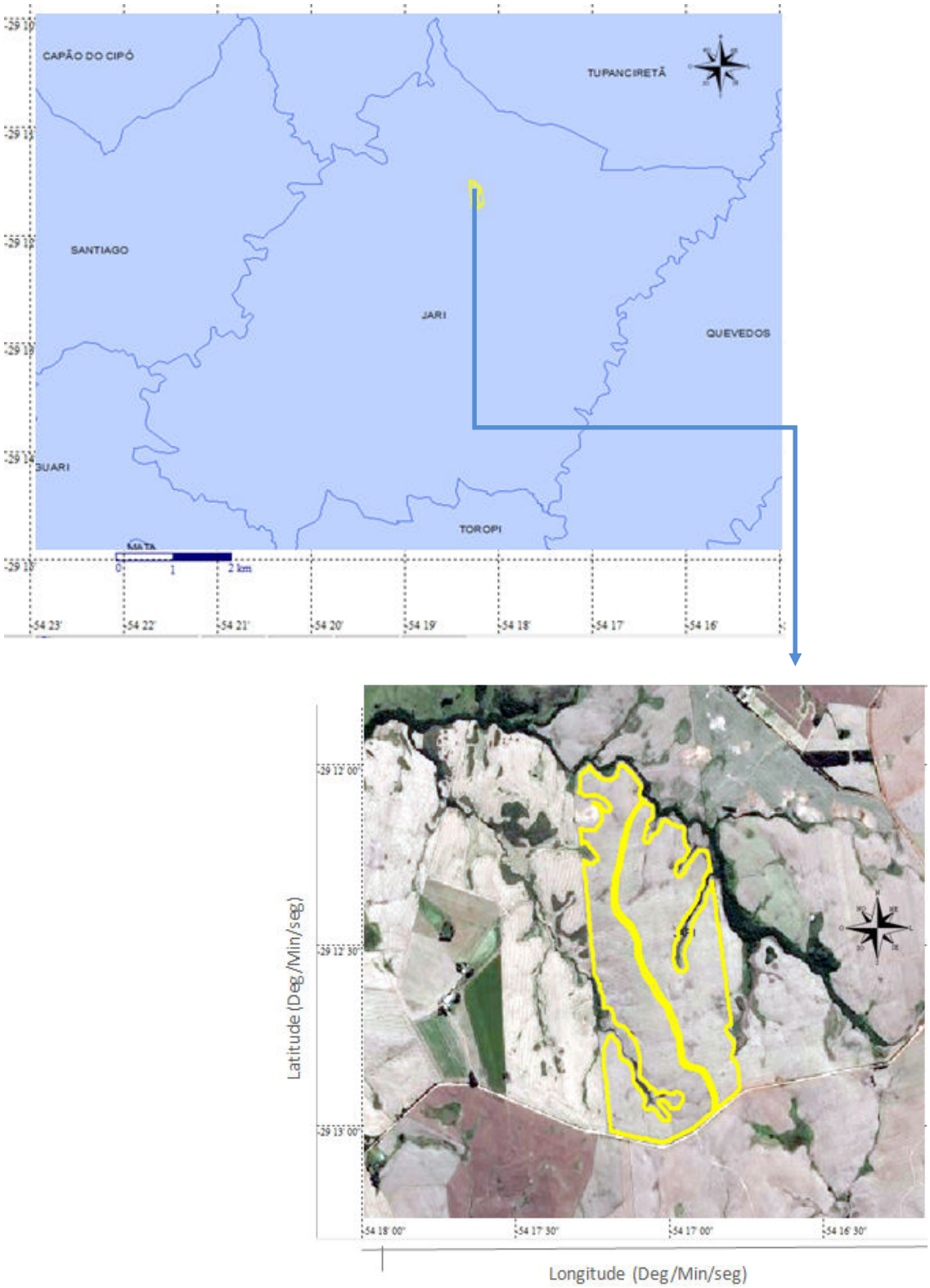
3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÕES DA ÁREA EXPERIMENTAL

A área de estudo está localizada no município de Jari/RS. As coordenadas geográficas de localização central da área são 29º12’32” S e 54º15’45” O, conforme mostra a Figura 2. O talhão possui área total de 167,3 hectares.

A área está localizada em uma zona tropical à temperada. Pela classificação climática de Köppen-Geiger o clima é considerado mesotérmico úmido sem estação seca. Nesta região, o solo predominante é argilo-arenoso, classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico, conforme classificação do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (Embrapa).

Figura 2 - Localização da área de estudo



No manejo e condução do sistema de agricultura de precisão na área, iniciado em 2005, utilizaram-se as ferramentas de amostragem georreferenciada do solo;

interpretação dos atributos químicos e físicos; elaboração de mapas de condições químicas; recomendação e aplicações de corretivos e fertilizantes a taxa variada; elaboração de mapas de produtividade e acompanhamento da área com imagens de satélite.

3.2 DEFINIÇÃO DOS DADOS UTILIZADOS PARA A ANÁLISE

Os dados de produtividade utilizados para elaboração dos mapas foram de cinco safras distintas, intercalados entre cultura de soja e cultura de trigo, conforme apresenta a Tabela 2.

Os dados referentes às produtividades de 2010, 2011 e 2012 foram desconsiderados e eliminados da análise e geração de mapas, pois se apresentaram de forma incompleta na maior parte da área de estudo, o que tornaria incoerente a interpolação de dados e estruturação dos dados.

Tabela 2 - Relação de aquisição dos dados de produtividade

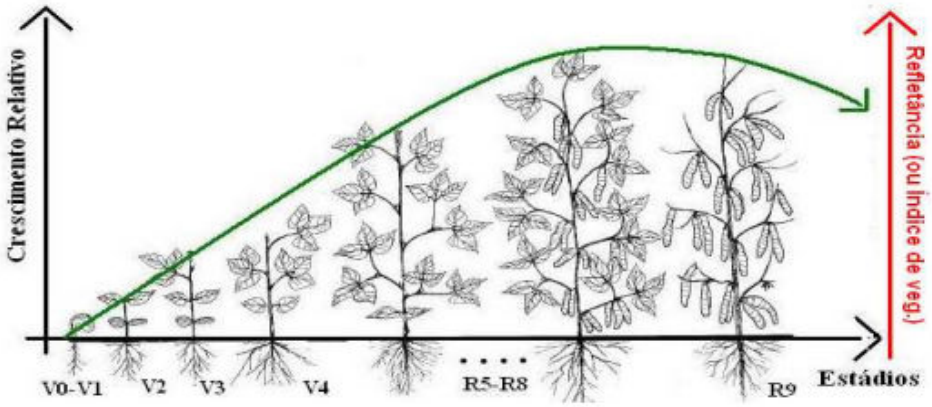
Safra	Cultura	Variedade	Data de plantio	Data de colheita	Ciclo da cultura (dias)
2007	Trigo	BRSguabiju	03/07/2007	20/11/2007	140
2008	Soja	Fundacep 53	29/11/2007	23/04/2008	146
2009	Soja	Soja 4910	04/11/2008	17/03/2009	133
2013	Trigo	Pioneiro	06/06/2013	05/11/2013	152
2014	Soja	VTOP	16/11/2013	04/04/2014	139

Fonte: Banco de dados pessoal do proprietário

3.3 OBTENÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITE

Para que fosse possível fazer o cruzamento entre os dados de produtividade e as informações de resposta espectral, foi necessário selecionar imagens de satélite que representassem o desenvolvimento vegetativo da cultura, sem estar com influências de solo exposto ou fase de maturação da cultura. Solos descobertos e rochas refletem nas regiões do vermelho e do infravermelho próximo quase na mesma intensidade, resultando em um NDVI próximo de zero (RIZZI, 2004). A Figura 3 mostra a relação entre o desenvolvimento fenológico das culturas e os índices e vegetação.

Figura 3 - Crescimento fenológico e espectralidade temporal



Fonte: Aula sensoriamento remoto agrícola INPE, 2009.

As datas de melhor comportamento de resposta espectral da cultura são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Relação de aquisição das imagens de satélite

Safra	Cultura	Satélite	Data da imagem	Data fenológica do cultivo (dia)
2007	Trigo	Landsat 5	29/09/2007	88
2008	Soja	Landsat 5	04/02/2008	67
2009	Soja	Landsat 5	21/01/2009	78
2013	Trigo	Landsat 8	28/08/2013	83
2014	Soja	Landsat 8	19/01/2014	64

Fonte: Banco de dados INPE e USGS

As imagens submetidas às diferentes rotinas de tratamento digital foram obtidas gratuitamente no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (www.dgi.inpe.br/CDSR), proveniente do sensor Thematic Mapper (TM), com resolução espacial de 30x30m, a bordo do satélite Landsat-5. Foi utilizada a órbita 223 e ponto 80. Já as imagens obtidas do satélite Landsat 8 foram adquiridas na plataforma Earth Explorer - United States Geological Survey (USGS), proveniente do sensor Operational Land Imager (OLI), com resolução espacial de 30x30m, a bordo do satélite Landsat-8. Nos dois casos de plataforma de disponibilização de dados, as imagens

foram gratuitas e apresentavam uma resolução espacial de 30 metros e características conforme Tabela 4 que segue.

Tabela 4 - Bandas Espectrais do visível e infravermelho próximo das imagens do satélite Landsat 5 e Landsat 8

Banda	Faixa espectral - Landsat 5	Faixa espectral - Landsat 8
1	0,45 a 0,52 µm - azul	-
2	0,52 a 0,60 µm - verde	0,45 a 0,52 µm - azul
3	0,63 a 0,69 µm - vermelho	0,52 a 0,60 µm - verde
4	0,76 a 0,90 µm - infravermelho próximo	0,63 a 0,69 µm - vermelho
5	-	0,76 a 0,90 µm - infravermelho próximo

Fonte: Divisão de Geração de Imagens – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

3.4 DETERMINAÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DOS DADOS DE PRODUTIVIDADE

Os dados selecionados foram filtrados para eliminação de erros grosseiros de posição, umidade nula ou ausente, largura parcial da plataforma, produtividades discrepantes e pontos fora do talhão. Para filtragem dos parâmetros selecionados, levou-se em consideração o histograma de distribuição dos dados.

O processo de filtragem e estruturação dos dados de produtividade foi realizado no software Topcon SGIS 3.9®, que permite classificar, filtrar e analisar os dados de forma precisa e pontual. O método de interpolação selecionado para confecção dos mapas de produtividade foi o de ponto central de quatro vértices. Esse método de interpolação determina o valor de um ponto levando em consideração os valores mais próximos dele e é empregado nos casos onde os dados cobrem quase por completo a área, sendo efetivo para preencher os espaços vazios nos dados.

Os dados analisados foram interpolados utilizando quadrículas de 10x10 metros como resolução espacial, as quais foram todas georreferenciadas para a mesma localização nas diferentes safras, o que significa que todos os mapas de uma mesma área apresentavam exatamente a mesma estrutura de espacialização. Cada quadrícula é representada pela coordenada geográfica do seu centro, acompanhada com a respectiva produtividade.

Os valores de produtividade foram classificados em classes com intervalo fixo pré-definido, conforme rendimento absoluto da cultura. Essa opção tem o propósito de

possibilitar uma observação prévia do comportamento da distribuição da variabilidade espacial, identificando os pontos limite de cada classe.

3.5 ESTRUTURAÇÃO DOS MAPAS DE ÍNDICE DE VIGOR VEGETATIVO – NDVI

No primeiro momento da análise de dados foram utilizadas imagens de satélite dos cinco anos selecionados para o estudo, para determinação do NDVI (Índice de Vegetação por diferença normalizada).

Com a utilização do software ArcGIS 10.2®, as imagens obtidas foram fusionadas fazendo a composição das bandas Verde (G), Vermelho (R) e Infravermelho próximo (IR). Foi realizado o ajuste de georreferência das imagens, conforme as coordenadas do contorno da área experimental.

A resolução espacial das imagens, originalmente, é 30 metros. Para que possam ser utilizadas na estruturação dos mapas de NDVI as mesmas foram redimensionadas para resolução espacial de 10 metros, parâmetro padrão escolhido para todos os dados processados, possibilitando assim a comparação com os dados de produtividade, que seguem a mesma resolução espacial.

As imagens já tratadas foram exportadas em formato *.tif para importação no software padrão de geração de mapas Topcon SGIS 3.9®.

Os valores de NDVI foram obtidos a partir da razão da diferença dos níveis de cinza de cada pixel nas bandas do infravermelho próximo (IVP) e banda do vermelho (V) das imagens LANDSAT pela soma das mesmas, conforme a equação:

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

3.6 ESTRUTURAÇÃO DO MAPA DE ESTABILIDADE DE RENDIMENTO POR PRODUTIVIDADE E ESTABILIDADE DE RENDIMENTO POR NDVI

A Estabilidade de Rendimento por Produtividade e por NDVI foram elaboradas considerando os mapas de rendimento absoluto e de NDVI, respectivamente, de cada cultura e cada safra.

Como referência para a criação dos parâmetros de desenvolvimento e interpretação da estabilidade de rendimento, foi utilizada a bibliografia de Staggenborg (2010) que indica que, para estruturar a estabilidade de rendimento de um talhão, é necessário calcular o rendimento desse talhão para cada cultura, calcular a diferença relativa anual e então calcular a diferença média relativa entre os anos.

Optou-se em utilizar nas análises o coeficiente de variação padrão de 20%, conforme Pimentel-Gomes (1985).

Para seguir os procedimentos de análise instruídos por Staggenborg (2010) foi desenvolvido o método de análise por equação criada no software Topcon SGIS 3.9®, que segue os parâmetros de:

1 – Relativização dos valores de rendimento absoluto de cada cultura, de forma individual;

2 – Cálculo de rendimento relativo médio entre todas as culturas;

3 – Cálculo do coeficiente de variação das amostras;

Depois de realizada a análise inicial, com os parâmetros citados anteriormente, foi feita a classificação dos dados em quatro classes de potencial produtivo, Estável Alto, Estável Baixo, Médio e Instável.

A classe Estável Alta é considerada quando a diferença relativa média dos dados for acima de 105% e o coeficiente de variação menor ou igual a 20%. Já a classe Média é considerada quando a diferença relativa média dos dados for acima de 95% e inferior a 105% e o coeficiente de variação menor ou igual a 20%. A classe Estável Baixa é considerada quando a diferença relativa média dos dados for menor de 95% e o coeficiente de variação menor ou igual a 20%. Por fim, a zona Instável foi considerada a que apresentasse qualquer situação adversa as anteriores.

3.7 CRUZAMENTO DOS MAPAS DE ESTABILIDADE DE RENDIMENTO POR PRODUTIVIDADE E ESTABILIDADE DE RENDIMENTO POR NDVI - TRATAMENTO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

O mapa de Estabilidade de Rendimento por Produtividade e o mapa de Estabilidade de Rendimento por NDVI foram exportados no formato *.tiff e importados no software Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas - Spring® (INPE) para cruzamento das duas informações.

Para análise da comparação, foi gerado um *buffer* de 15 metros no contorno do talhão e também na estrada que corta o mesmo. Esse *buffer* é importante para eliminação das interferências de bordas nos pixels em análise, buscando-se minimizar o efeito da proximidade espacial.

O método de cruzamento dos dados foi através da ferramenta de validação. O processo de validação determina o grau de confiabilidade do resultado de acordo com os dados de referência, ou seja, supondo que os dados de referência representam a verdade, os processos de validação verificam sobre o resultado de uma determinada operação, o quão perto da referência o mesmo se encontra. Os mapas importados no software Spring® são cruzados, usando como referência o mapa de estabilidade de rendimento da produtividade, pois são dados reais coletados no campo, e como dado a ser validado foi utilizado o mapa de Estabilidade de Rendimento por NDVI.

Como não existe um método consagrado para avaliação da estabilidade temporal de zonas de manejo, utilizou-se como parâmetro indicativo o índice *Kappa*. O índice *Kappa* (Congalton, 1991) foi determinado para avaliar a semelhança entre os mapas, por meio de um teste de hipótese que faz uma comparação entre o mapa de referência (Estabilidade de Rendimento por Produtividade) e o mapa em análise (Estabilidade de Rendimento por NDVI).

Para sua estimativa, em um primeiro momento, foi calculado o erro de concordância entre os mapas de zonas gerados, a fim de se produzir matrizes de erro. Em posse dessas matrizes, foi calculado o índice *Kappa* entre os mapas gerados.

Para comprovar os resultados encontrados, gerou-se um mapa comparativo entre o mapa de Estabilidade de Rendimento por Produtividade e o mapa de Estabilidade de Rendimento por NDVI. No cruzamento dos dois mapas fez-se a relação da seguinte forma:

- ✓ Zona estável alta nos dois mapas, destacada como Estável Alta;
- ✓ Zona estável baixa nos dois mapas, destacada como Estável Baixa;
- ✓ Zona média nos dois mapas, destacada como Média;
- ✓ Zona instável nos dois mapas, destacada Instável;
- ✓ Zonas que não se repetem nos dois mapas, destacadas como Variáveis;

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 MAPAS DE RENDIMENTO ABSOLUTO DAS PRODUTIVIDADES E MAPAS DE NDVI

O Mapa de Produtividade produz informações detalhadas da produtividade do talhão e dá parâmetros para diagnosticar e corrigir as causas de baixas produtividades em algumas áreas do talhão, os mapas são gerados em kg/ha.

É possível constatar que os altos valores de NDVI indicam alta atividade fotossintética ou a presença de vegetação abundante, enquanto que baixos valores de NDVI indicam baixa atividade fotossintética e consequentemente a presença vegetação esparsa ou ausência total de vegetação; neste último caso, substituída por usos distintos, como regiões de solo exposto, plantações, entre outros.

Na Tabela 5 verificam-se as médias de rendimento absoluto de produtividade de cada ano, assim como as médias de valores de NDVI da resposta espectral de cada imagem processada.

Tabela 5 - Médias de rendimento absoluto e NDVI por safra

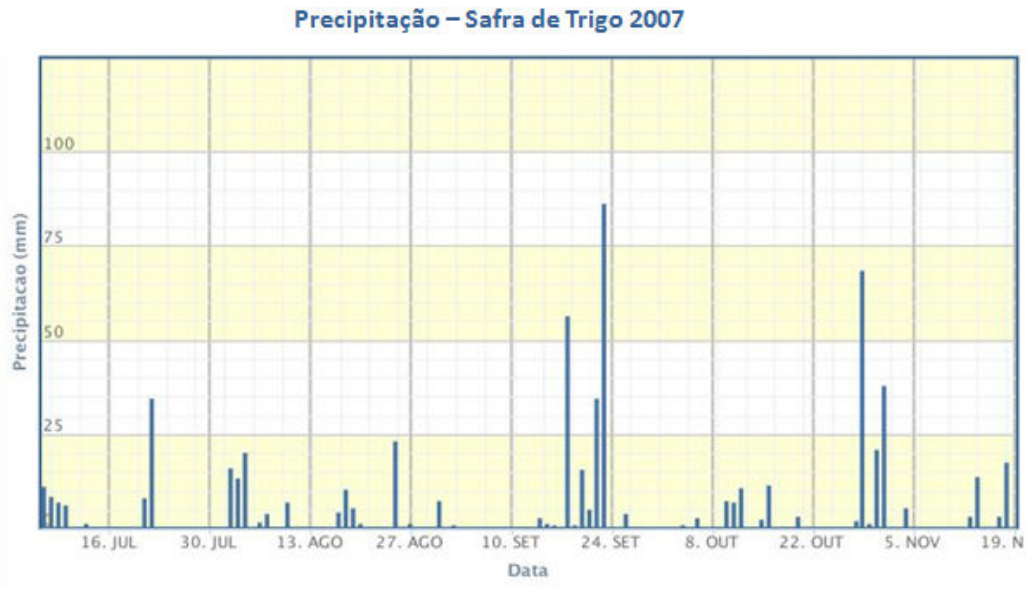
Safra / Cultura	Média de rendimento absoluto (kg/ha)	Média de NDVI (valor)	Satélite
2007 (Trigo)	2721	0,6789	Landsat 5
2008 (Soja)	3584	0,7413	Landsat 5
2009 (Soja)	3423	0,7488	Landsat 5
2013 (Trigo)	4058	0,8806	Landsat 8
2014 (Soja)	3145	0,8928	Landsat 8

Os mapas obtidos no processamento dos dados de produtividade e dados de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), respectivamente, seguem abaixo.

4.1.1 Cultivo de Trigo no ano de 2007

O mapa de NDVI foi processado baseado em uma imagem com data de 29/09/2007, que se refere à data fenológica de 88 dias de desenvolvimento da cultura de trigo, variedade BRS guabiju. Está variedade é classificada como precoce e tem maior exigência hídrica no período que corresponde a 70 a 80 dias do ciclo fenológico.

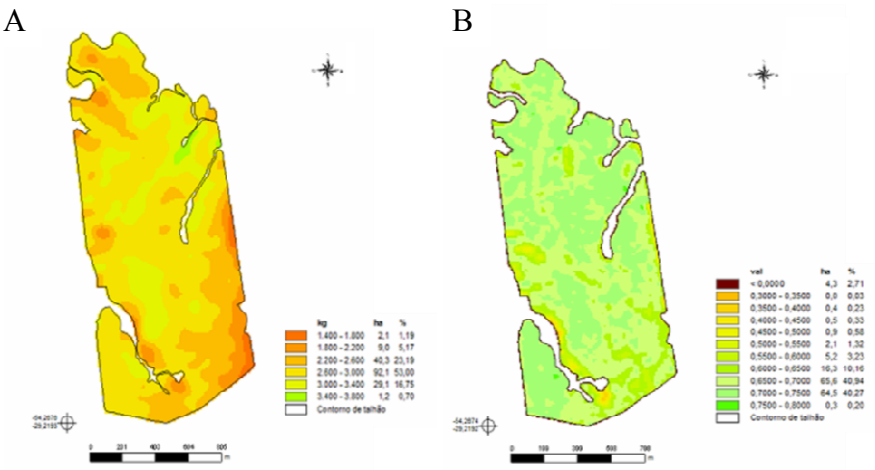
Figura 4 - Precipitação - Safra de Trigo 2007



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia - INMET

Nos mapas de rendimento absoluto e NDVI, respectivamente, nota-se a mesma tendência entre produtividade e resposta espectral da planta.

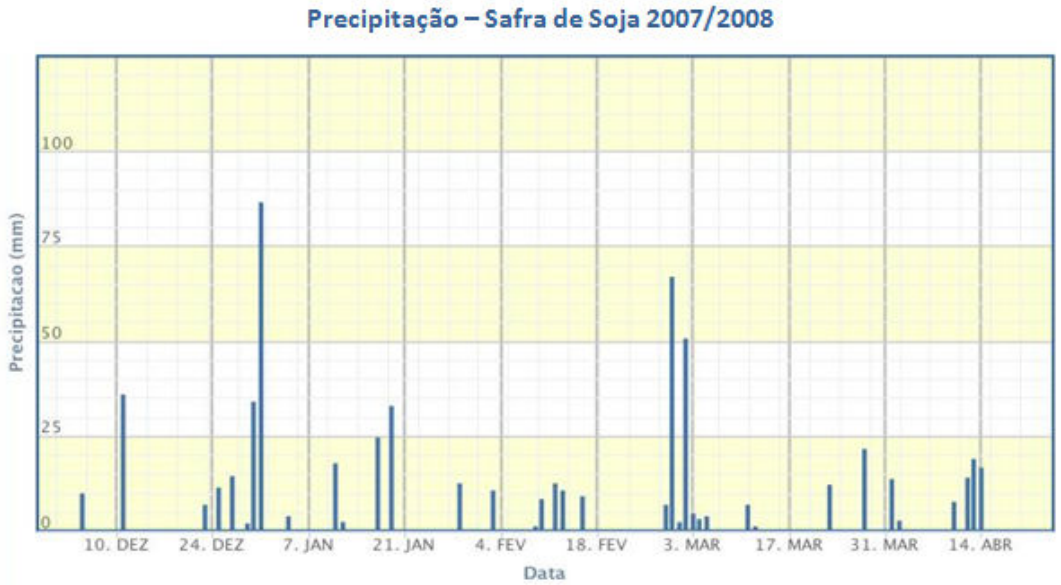
Figura 5 - Mapas de Rendimento Absoluto (A), Mapa de NDVI (B) – Safra de Trigo 2007.



4.1.2 Cultivo de Soja – Safra 2007/2008

O mapa de NDVI foi processado baseado em uma imagem com data de 04/02/2008, que se refere à data fenológica de 67 dias de desenvolvimento da cultura de soja, variedade Fundacep 53. Está variedade é classificada como precoce e tem maior exigência hídrica no período que corresponde a 60 a 70 dias do ciclo fenológico.

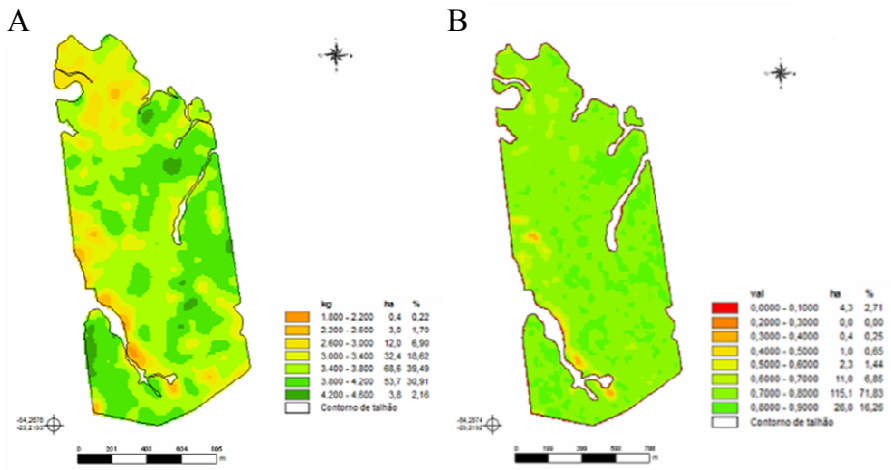
Figura 6 - Precipitação Safra de Soja 2007/2008



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia - INMET

Nos mapas da safra em análise, foi possível verificar que as zonas com baixa produtividade e resposta espectral puderam ser verificadas em comum.

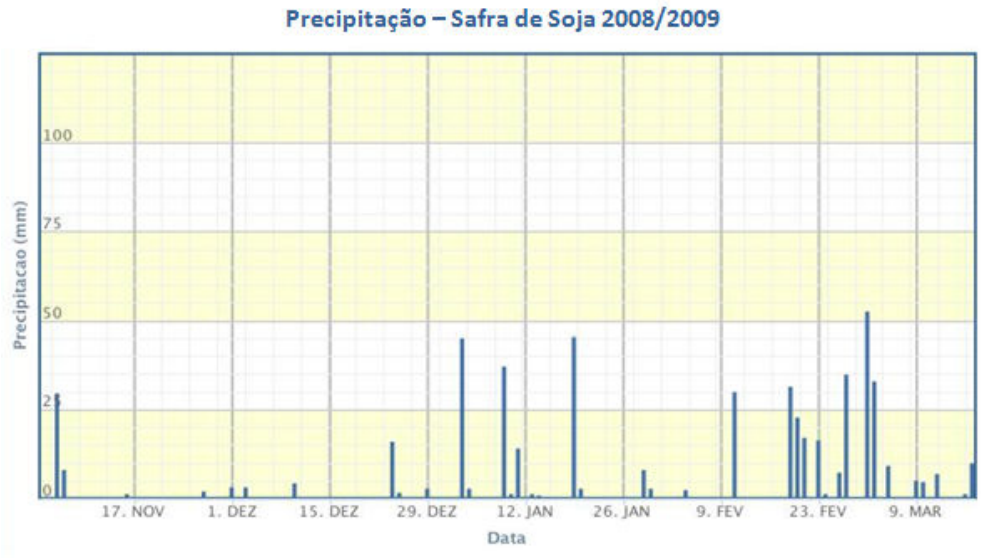
Figura 7 - Mapas de Rendimento Absoluto (A), Mapa de NDVI (B) – Safra de Soja 2008



4.1.3 Cultivo de Soja – Safra 2008/2009

O mapa de NDVI foi processado baseado em uma imagem com data de 21/01/2009, que se refere a data fenológica de 78 dias de desenvolvimento da cultura de soja, variedade Soja 4910. Está variedade é classificada como super-precoce e tem maior exigência hídrica no período que corresponde a 50 a 60 dias do ciclo fenológico.

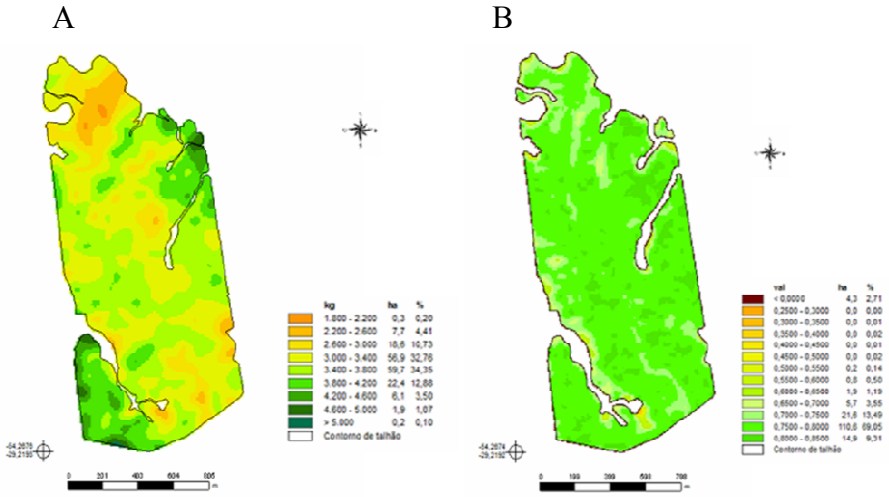
Figura 8 - Precipitação Safra de Soja 2008/2009



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia - INMET

Nesta análise pontos específicos, que demonstram baixa produtividade e baixa resposta espectral são encontrados em comum nas análises.

Figura 9 - Mapas de Rendimento Absoluto (A), Mapa de NDVI (B) – Safra de Soja 2009

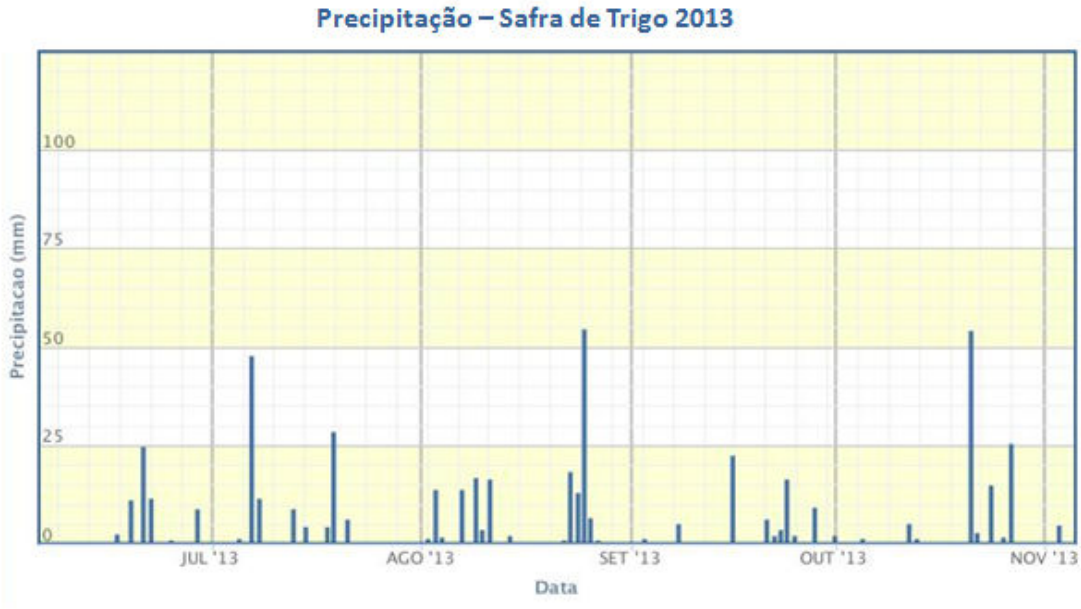


4.1.4 Cultivo de Trigo – Safra 2013

O mapa de NDVI foi processado baseado em uma imagem com data de 28/08/2013, que se refere a data fenológica de 83 dias de desenvolvimento da cultura de

trigo, variedade Pioneiro. Está variedade é classificada como ciclo médio e tem maior exigência hídrica no período que corresponde a 80 a 90 dias do ciclo fenológico.

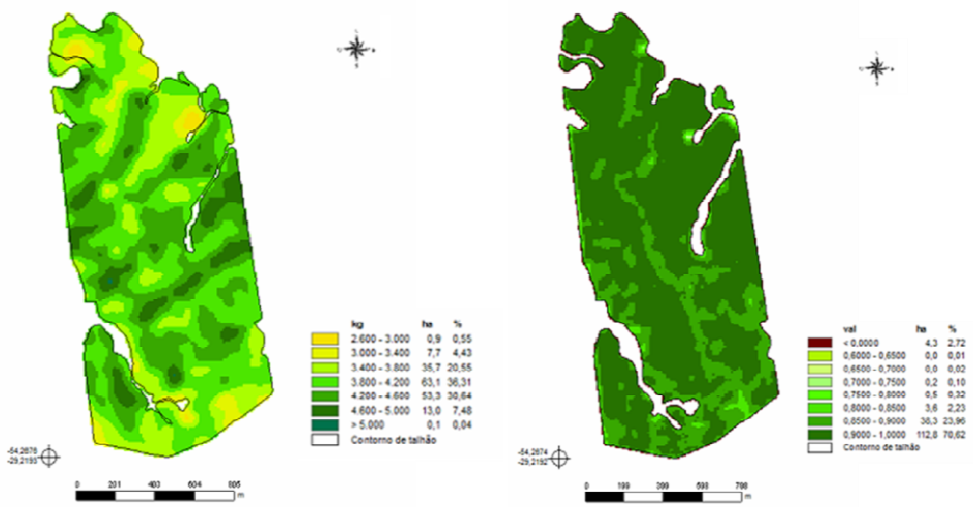
Figura 10 - Precipitação Safra de Trigo 2013



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia - INMET

Nesta avaliação somente algumas áreas de alta produtividade e resposta espectral puderam ser observadas em comum nos mapas.

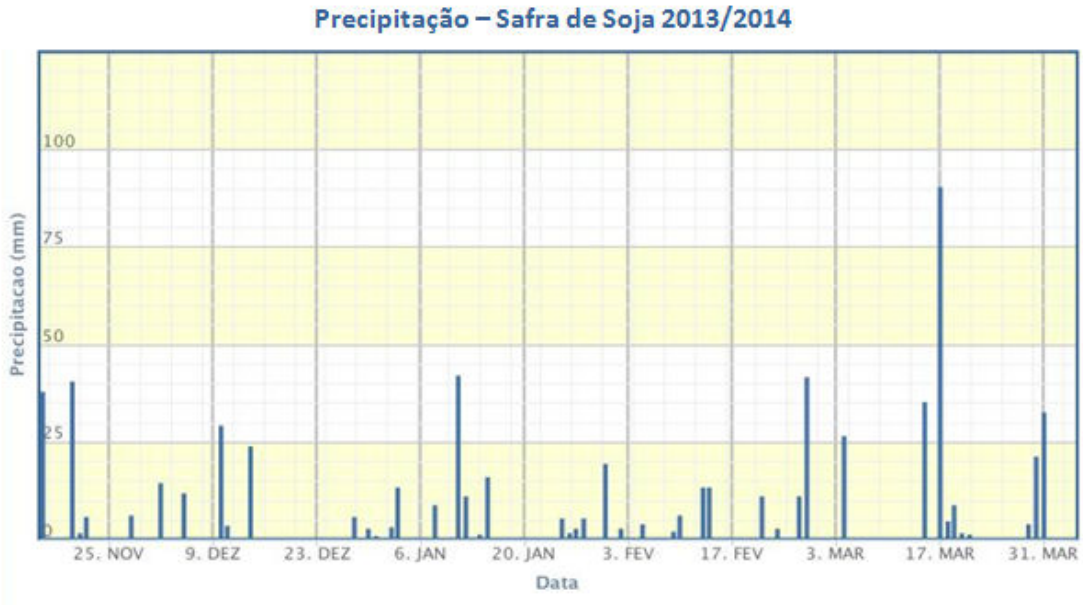
Figura 11 - Mapas de Rendimento Absoluto (A), Mapa de NDVI (B) – Safra de Trigo 2013.



4.1.5 Cultivo de Soja – Safra 2014

O mapa de NDVI foi processado baseado em uma imagem com data de 19/01/2014, que se refere a data fenológica de 64 dias de desenvolvimento da cultura de soja, variedade VTOP. Está variedade é classificada como precoce e tem maior exigência hídrica no período que corresponde a 60 a 70 dias do ciclo fenológico.

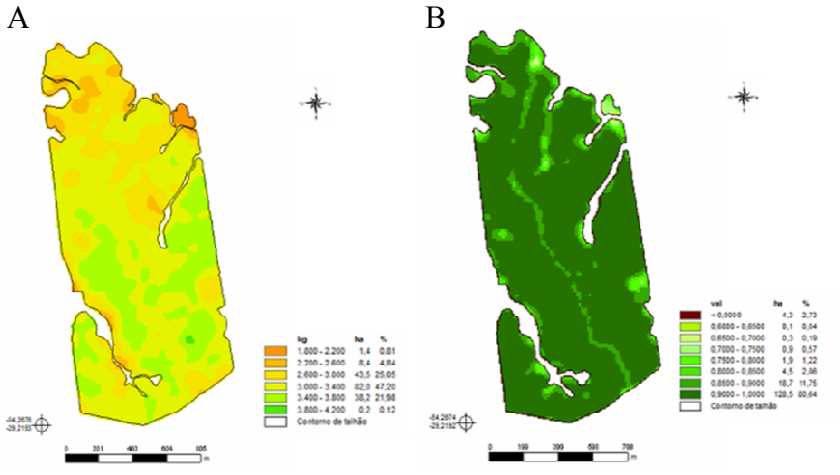
Figura 12 - Precipitação Safra de Soja 2014



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia - INMET

Na análise referente ao ano de 2014, somente áreas de alta produtividade e resposta espectral foram observadas, áreas de baixa não puderam ser comparadas.

Figura 13 - Mapas de Rendimento Absoluto (A), Mapa de NDVI (B) – Safra de Soja 2014

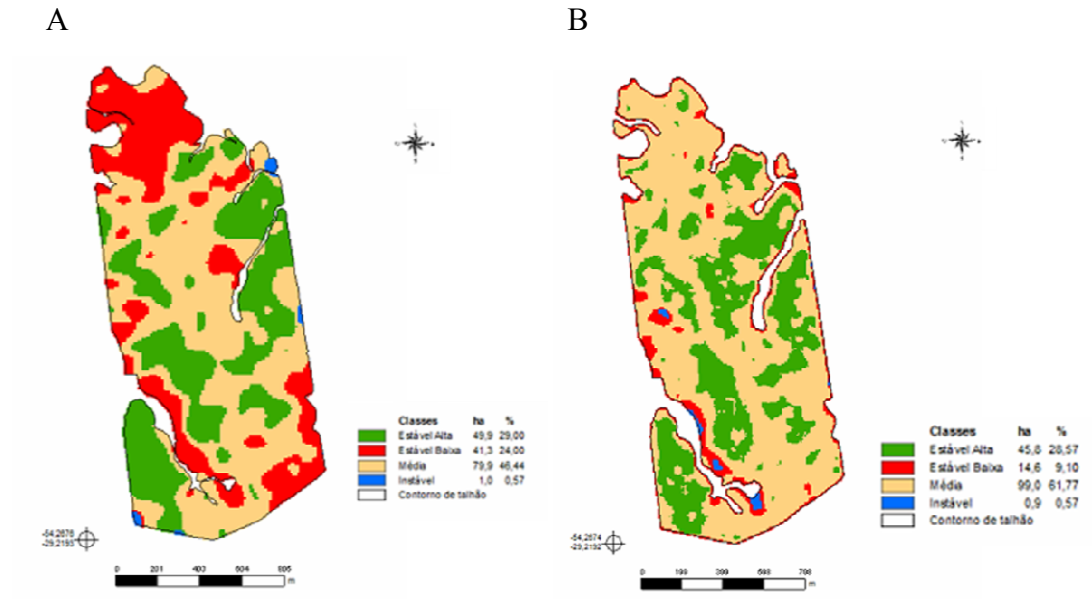


4.2 ESTABILIDADE DE RENDIMENTO

O critério de agrupamento para estabelecer o conjunto de limites e condições que pudessem caracterizar diferentes unidades de manejo em função da variabilidade espacial e temporal da produtividade e do NDVI, certamente tem grande influencia na definição das unidades, sua abrangência e o valor de representatividade.

Com o cruzamento dos cinco dados de produtividade, assim como de NDVI, através de equação adequada, obteve-se o mapa de Estabilidade de Rendimento por Produtividade, e consecutivamente o mapa de Estabilidade de Rendimento por NDVI, conforme Figura 14.

Figura 14 - Mapa de Estabilidade de Rendimento por Produtividade (A), Mapa de Estabilidade de Rendimento por NDVI (B)



4.3 CRUZAMENTO DE MAPAS DE ESTABILIDADE DE RENDIMENTO POR PRODUTIVIDADE E ESTABILIDADE DE RENDIMENTO POR NDVI

No cruzamento dos mapas de Estabilidade utilizou-se a ferramenta de validação de imagens do SPRING. Como plano de validação, utilizou-se a classificação dos dados de Estabilidade de Rendimento por Produtividade e a referência a ser validada foi a classificação dos dados de Estabilidade de Rendimento por NDVI, ou seja, verificar a veracidade dos dados provenientes do NDVI através dos dados provenientes das produtividades, que são os dados reais e verídicos.

Após a aplicação do *buffer* para eliminação de influencias das bordas do talhão e bordas da estrada, no processo de validação foram avaliadas 29690 amostras, que representam os *pixels* das imagens. Destas 29690 amostras validadas, obteve-se veracidade em 16303 amostras, o que representa 54,9% do total sendo consideradas como verdadeiras em sua classe de interpretação.

A forma de comparação dos mapas foi através do índice *Kappa* de concordância (Carvalho et al., 2001). Esse método testou a associação entre mapas e entende se os mapas diferem devido a alguma variação causal ou se há uma real concordância.

O valor do índice *Kappa* é um indicativo de quão semelhantes são os mapas gerados com o mapa de referência. Valores de *Kappa* iguais a zero indicam que os

mapas são totalmente diferentes, a semelhança entre os mapas tende a aumentar na medida em que o índice kappa tende ao valor um, representativo de mapas exatamente iguais.

Para essa análise, o Índice *Kappa* alcançado foi de 0,2623. Diante deste resultado, percebe-se que o Índice *Kappa* de validação é considerado de fraca relação entre as zonas de manejo determinadas pelo mapa de produtividade e as zonas de manejo determinadas pelos mapas de NDVI.

A matriz de confusão na Tabela 6 complementa essa análise dos resultados.

Tabela 6 - Matriz de confusão de cruzamento dos dados

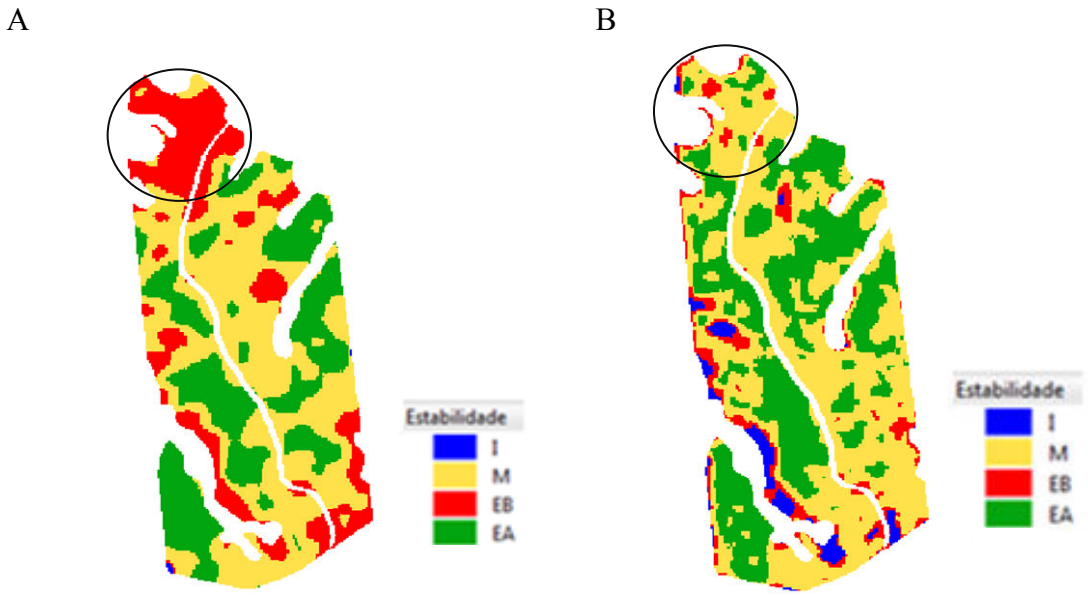
		(Produtividade)				
		I	M	EB	EA	Acurácia do usuário
(NDVI)	I	0	152	87	42	0%
	M	19	9253	3744	2880	58%
	EB	4	858	1190	149	54%
	EA	0	4077	658	5960	56%

I – Zona instável; M – Zona Média; EB – Zona Estável Baixa; EA – Zona Estável Alta

A matriz de confusão mostra a correspondência de classes nos mapas. A matriz de erro é uma maneira muito eficaz para representar a acurácia de cada categoria.

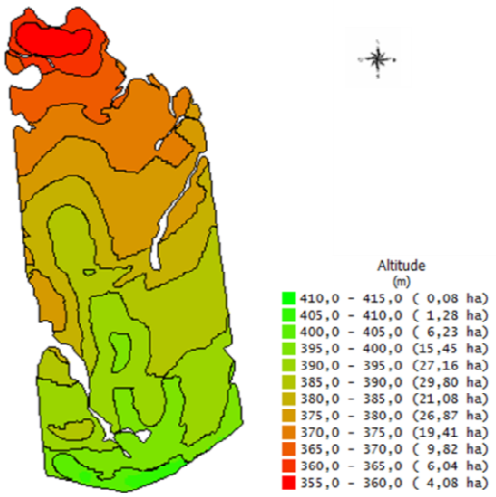
Em análise a matriz de confusão, percebe-se que a classificação das amostras da zona estável baixa do mapa de Estabilidade de Rendimento por NDVI se confundem com a classificação de zona média no mapa Estabilidade de Rendimento por Produtividade. No comparativo das zonas na Figura 15, percebe-se que a região destacada mostra-se confusa entre o mapa de Estabilidade de Rendimento por Produtividade e a Estabilidade de Rendimento por NDVI.

Figura 15 - Estabilidade de Rendimento por Produtividade (A), Estabilidade de Rendimento por NDVI (B) - Comparativo das zonas de manejo.



Em averiguação a campo comprovou-se que a esta região da área apresenta declividade baixa (Figura 16) e alta umidade, possibilidade essa de que o excesso de água pode estar diretamente relacionado com a produtividade, influenciando de forma negativa no enchimento de grãos. O encharcamento do solo modifica suas relações bióticas, pois promove deficiência de oxigênio, reduz a respiração aeróbica e promove indisponibilidade de determinados nutrientes para a planta (DUTRA et al., 1995).

Figura 16 - Mapa de altitude da região avaliada

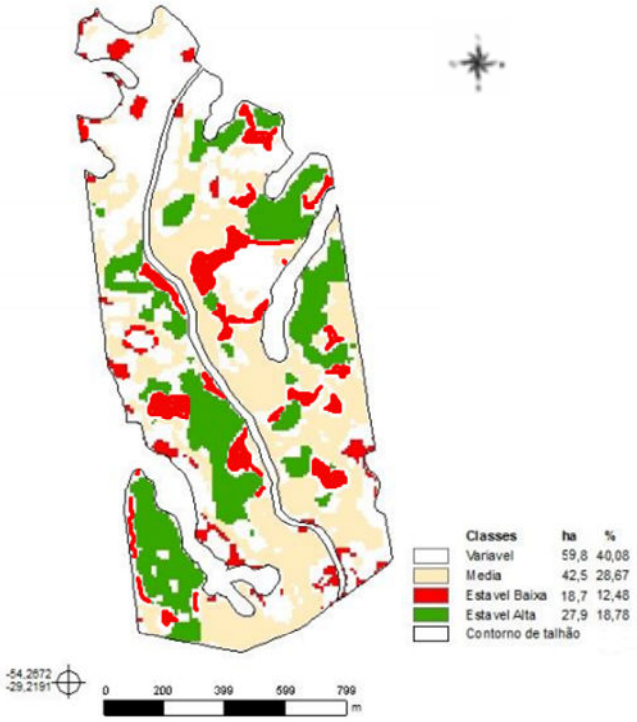


Para a cultura da soja, em solos de várzea, o estabelecimento inicial das plântulas é um dos principais gargalos durante a ontogenia das plantas. A saturação hídrica do solo durante o período vegetativo retarda o crescimento vegetativo e reduz o número de flores nas plantas (Runge e Odell, 1960), bem como o rendimento de grãos.

Em se tratando de produtividade real, nem sempre os valores esperados se confirmam, pois a área foliar sofre menor influência do que a razão de área foliar, em plântulas submetidas a condições de excesso de água não nota-se o excesso de umidade no desenvolvimento foliar da planta, o que explica a presença de alto vigor vegetativo para as culturas nessa região, mas o rendimento de grão nem sempre é constatado. Além disso, sabe-se que o rendimento é influenciado por inúmeros fatores, sendo a declividade um fator preponderante e que exerce muita influência, principalmente em condições adversas de solo e clima.

Já as zonas classificadas como Estável Alta puderam ser facilmente definidas pela Estabilidade de Rendimento por NDVI, o que é possível comprovar quando se analisa que 55% das amostras totais puderam ser classificadas corretamente.

Figura 17 - Cruzamento dos dois mapas



Com esse cruzamento de mapas, afirma-se que 18,8% da área total foi realmente classificadas como Zona Estável Alta nas duas análises. Para Zona Estável Baixa, 12,5% da área foi classificada corretamente. Já na Zona Média, 28,7% da área comprovou-se nesta característica. A Zona Instável não se comprovou em nenhum caso.

Sendo assim, 60% das áreas foram classificadas corretamente quando comparando zonas geradas por mapas de produtividade com zonas geradas por mapas de NDVI.

5. CONCLUSÕES

a) O método de determinação de zonas de manejo por mapas de Estabilidade de Rendimento por Produtividade é válido e permitiu a classificação das quatro classes de potencial produtivo utilizadas;

b) O método de determinação de zonas de manejo por mapas de Estabilidade de Rendimento por NDVI é válido e permitiu a classificação em zonas estável alta, estável baixa e média, porém neste estudo não possibilitou a determinação de zonas instáveis;

c) O cruzamento dos dados das zonas classificadas em Estabilidade de Rendimento por Produtividade e Estabilidade de Rendimento por NDVI é válido, com classificação de 57,48% da área de forma comum entre os dois métodos;

d) O método de determinação de zonas de manejo por mapas de Estabilidade de Rendimento por NDVI é tecnicamente viável, tendo em vista a agilidade de execução, a resposta do método e a importância técnica da identificação das zonas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção de zonas de manejo através de dados de sensoriamento remoto e produtividade devem ser acompanhadas de maneira diferenciada, necessitando de avaliações no decorrer dos anos para elevar o histórico destes dados no sentido de validar os resultados deste trabalho, já que a variabilidade da produtividade é dependente de diversos fatores.

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que na definição de zonas diferenciadas de manejo, deve-se levar em consideração a declividade do terreno, atrelando a estas possíveis influências sobre a produtividade das culturas.

A proposta de definição de zonas de manejo apresentada neste trabalho buscou identificar possíveis correlações entre a produtividade da cultura e sua resposta espectral na imagem de satélite. Levando em consideração que a condição química do solo já foi corrigida e que a variabilidade na produtividade depende de outros fatores.

A construção de mapas de zonas de manejo é uma ferramenta complementar da agricultura de precisão, sendo mais uma forma de caracterizar a variabilidade espacial existente na lavoura. Assim, a determinação de zonas diferenciadas de manejo permite ao produtor intervir de maneira localizada, diminuindo seus custos operacionais, bem como diminuir a variabilidade espacial dos atributos do solo.

A correta interpretação das informações contidas nesses mapas só é mais efetiva após a interação com as demais informações relacionadas à variabilidade e essa é a etapa relacionada à busca dos responsáveis pela variabilidade.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBARENQUE, S. M. Vélez, J. P. **Técnicas para el procesamiento de mapas de rendimiento** – Estación Experimental Agropecuaria Paraná, Centro Regional Entre Rios INTA. 1a ed. - Yuto: Ediciones INTA, 2011.

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-de-imagens-landsat-8-para-obtencao-dos-indices-de-vegetacao-ndvi-e-savi-visando-a-caracterizacao-da-cobertura-vegetal-no-municipio-de-nova-lima-mg/

AMADO, T.J.C., GIOTTO, E. **A sua lavoura na tela**. Revista A Granja, São Paulo, SP, p.38-42, 2009.

AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L. **Agricultura de precisão aplicada ao aprimoramento do manejo do solo**. In: FIORIN, J. E., ed. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. Passo Fundo, Berthier, 2007.p.99-144.

ARAUJO, J. et al. **Estimativa da produtividade e determinação de zonas de manejo, em culturas de grãos, por meio de videografia aérea multiespectral.** Maringá, v. 27, n. 3, p. 437-447, Julho/Setembro. 2004. Disponível em: http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/1406.

AZEVEDO, E.C.; MANGABEIRA, J.A.C. **Mapeamento de uso das terras utilizando processamento digital de imagem de Sensoriamento Remoto.** Campinas, SP: MAPA, 2001. 12p. (Comunicado Técnico, ISSN 1415-2118).

BARET, F.; GUYOT, G. **Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment.** Remote Sensing of Environment, New York, v. 35, n. 1, p. 161-173, 1991. Disponível em: http://www.researchgate.net/publication/222736598_Potentials_and_limits_of_vegetation_indices_for_LAI_and_APAR_assessment._Remote_Sens_Env

BLACKMORE, B. S.; LARSCHEID, G. **Strategies for managing variability.** In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1, 1997, Warwick, UK. Warwick: Warwick University Conference Centre. Disponivel em: www.silsoe.cranfield.ac.uk/cpf/.

BLACKMORE, B.S.; GODWIN, R.J.; FOUNTAS, S. The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. **Biosystems Engineering**, v.84, p.455-466, 2003.

BRITES, R. S. **Verificação de exatidão em classificação de imagens digitais orbitais: efeito de diferentes estratégias de amostragem e avaliação de índices de exatidão.** 1996. 101 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

CAPELLI, N.L. **Agricultura de precisão - Novas tecnologias para o processo produtivo**. LIE/DMAQAG/ FEAGRI/UNICAMP. 2004. Disponível em: http://www.bases.cnptia.embrapa.br

CAMBARDELLA, C. A.; KARLEN, D. L. **Spatial analysis of soil fertility parameters.** Precision Agriculture, Dordrecht, v.1, n.1, p. 5-14, 1999.

CARVALHO, J.R.de P.; VIEIRA, S.R.; MORAN, R.C.C.P. **Como avaliar similaridade entre mapas de produtividade.** Campinas: Relatório Técnico/Embrapa informática agropecuária 10, 1a edição, 24p. 2001.

COELHO, A. M. **Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas.** Tópicos em Ciência do Solo, v. 3, p. 249-290, 2003.

COLGATON, R. G. **A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data.** Remote Sensing of Environment, v. 49, n. 12, p. 1671-1678, 1991.

CONGALTON, R. G.; MEAD, R. A. **A review of discrete multivariate analysis techniques used in assessing the accuracy of remotely sensed data from error matrices.** IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v.24, p.169-174, 1986.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. **Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 28, p. 1013-1021, 2004.

Cruz, M. A. S.; Souza, A. M. B.; Jesus, J. S. Avaliação **da cobertura vegetal por meio dos Índices de Vegetação SR, NDVI, SAVI e EVI na bacia do rio Japaratuba-Mirim em Sergipe.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, 2011, Curitiba, Brasil. Anais... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 1357-1365.

DAIANESE, R. **Duas Técnicas precisas = um resultado surpreendente.** Revista Campo & Negócios, Uberlândia-MG. N 23, janeiro de 2005. p38-40. Disponível em http://www.apagri.com.br/artigos/duas_tecnicas.pdf

DUTRA, L.F.; TAVARES, S.W.; SARTORETTO, L.M.; VAHL, L.C. **Resposta do feijoeiro ao fósforo em dois níveis de umidade no solo.** Revista Brasileira de Agrociência, v.1, n.2, p.91-96, 1995. http://www.ufpel.tche.br/ faem/agrociencia/v1n2/v1n26.htm

DURIGON, R. **Aplicação de técnicas de manejo localizado na cultura do arroz irrigado** (Oryza sativa L.). 2007. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2007.

EMBRAPA. **Tecnologia em mecanização no Brasil: Equipamentos e sistemas para o futuro.** In: Seminário Temático Para Prospecção De Demandas Em Pesquisa E

Desenvolvimento Em Mecanização Agrícola No Brasil, 1997, Sete Lagoas-MG. Disponível na Internet. http://wwwbases.cnptia.embrapa.br/cria/gip/gipap/seminario.doc em 01 marco. 2015.

FIETZ, C.R.; FOLEGATTI, M.V.; VIEIRA, S.R.; FRIZZONE,J.A. **Efeito da variabilidade do armazenamento de água no solo na qualidade da irrigação por aspersão.** R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, Campina Grande, v.3, p.150-153, 1999.

FONSECA, L. M. G. **Restauração de imagens do satélite Landsat por meio de técnicas de projeto de filtros FIR.** 1998. 148f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica). Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA. São José dos Campos-SP.

GENTIL, L.V.; FERREIRA, S.M. **Agricultura de precisão: Prepare-se para o futuro, mas com os pés no chão.** Revista A Granja, Porto Alegre, n 610, 1999. p12-17.

GIMENEZ, L. M.; MOLIN, J. P. **Fertilidade do solo e sua influência no rendimento das culturas – proposta de uma metodologia para definição de unidades de manejo.** IN: BALASTREIRE, L. A. Avanços da Agricultura de Precisão no Brasil no período de 1999-2001, Piracicaba, SP, p.50-57, 2002.

GOMES, F.P. **Livro Curso De Estatística Experimental**. Piracicaba, São Paulo. 1985. Disponível em: https://www.passeidireto.com/arquivo/6026215/livro-curso-de-estatistica-experimental-pimentel-gomes

GONÇALVES, A.C.A. **Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo para fins de manejo da irrigação**. 1997. 118p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

GOOVAERTS, P. **Geostatistics for natural resources evaluation**. New York: Oxford University Press, 1997. 476 p.

GREGO, C. et al. **Geoestatística aplicada a Agricultura de Precisão.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Brasilia. 2014.

HONDA, B.; JORGE, L. **Computação Aplicada À Agricultura De Precisão.** Rev. Científica Eletrônica UNISEB, Ribeirão Preto, v.1, n.1, p.111-132, jan./jun.2013. Disponível em: http://uniseb.com.br/presencial/revistacientifica/arquivos/8.pdf

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estações Automáticas de Precipitação.** Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf

JOHANNSEN, C. J.; CARTER, P. G.; ERICKSON, B. J.; MORRIS, D. K.; WILLIS, P.R. **A cornucopia of agricultural applications.** Space Imaging, Thornton, Jan/Fev, p. 22-23, 2000.

JUNG, A. et al. **Estudo indicativo do comportamento do NDVI e EVI em lavouras de cereais de inverno da região norte do Estado do Rio Grande do Sul, através de imagens MODIS.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre. 2007. Disponível em: http://www.ufrgs.br/leaa/arquivos/Artigos

KITCHEN, N. R.; et al. **Delineating productivity zones on claypan soil fields using apparent soil electrical conductivity.** Computer and Electronics in Agriculture, v. 46, p. 285-308, 2005.

LANDIS J.; KOCH G. **The measurement of observer agreement for categorical data.** *Biometrics*, Washington, DC, v. 33, n.159-74, 1977.

LUCHIARI JUNIOR, *et al*. **Strategies for Establishing Management Zones for Site Speci- c Nutrient Management.** University of Minnesota 2000. In: International Conference On Precision Agriculture, 5, 2000.

MAKEPEACE, R.J. **Benefits and limitations of precision farming**. Brighton. Proceedings...v.3, 1996. p.1235-1242.

MENEGATTI, L.A.A.; MOLIN, J.P. **Remoção de erros em mapas de produtividade via filtragem de dados brutos.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.8, n.1, p.126-134, 2004. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662004000100019&script=sci_arttext

MENDES, A. M. S.; FONTES, R. L. F.; OLIVEIRA, M. **Variabilidade espacial da textura de dois solos do Deserto Salino, no Estado do Rio Grande do Norte.** Revista Ciência Agronômica. v. 39, p. 19-27, 2008.

MILANI, L.; et al. **Unidades de manejo a partir de dados de produtividade.** Acta Scientiarum. Agronomy, v.28, n.1, p.591-598, 2006. Disponível em: http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v28i4.937.

MISSOTTEN, B.; Strubbe, D. De Baerdemaeker, J. **Accuracies of grain and straw yield maps.** Agricultural Engineering, St. Joseph, v.9, p.23-26, 1996.

MOLIN, J.P. **Geração interpretação de mapas de produtividade para agricultura de precisão.** 1997. Disponível em: http://www.fatecpompeia.edu.br/arquivos/arquivos/capitulo_10.pdf

MOLIN, J. P. **Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade**. Engenharia Agrícola, v.22, n.1, p.83-92, 2002. Disponível em: http://www.leb.esalq.usp.br/download/APP%202002.02. PDF>. 25/02/2015.

MOREIRA, R.C. Influência **do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação.** 2000. 114 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2000.

MOTOMIYA, A. V. A.; MOLIN, J. P.; CHIAVEGATO, E. D. **Utilização de sensor óptico ativo para detectar deficiência foliar de nitrogênio em algodoeiro.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 137-145, 2009.

MOTOMIYA, A. et all. **Mapeamento Do Índice De Vegetação Da Diferença Normalizada Em Lavoura De Algodão**. Goiânia, v. 42, n. 1, p. 112-118, jan./mar. 2012. Disponível em: http://www.revistas.ufg.br/index.php/pat/article/view/14251

PES, L. Z.; et al. **Projeto Aquarius/Cotrijal – Pólo de Agricultura de Precisão na Região do Alto Jacuí – RS**. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, 2. Resumos Expandidos**.** São Pedro, SP, ESALQ/USP, 2006.

PONTELLI, C.B. **Caracterização da variabilidade espacial das características químicas do solo e da produtividade das culturas utilizando as ferramentas de agricultura de precisão.** 2006. 112p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria (RS).

REIS, L. R. **Utilização da condutividade elétrica para estabelecimento de zonas de manejo em um latossolo amarelo-escuro**. Viçosa, 2005. 58f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa. 2005.

RIBEIRO, E. **Operações aritméticas com o Spring para o estudo da vegetação**. Presidente Prudente. Editora Azimute, Volume 1. 2012. Disponível em: www.geosaude.com

RIZZI, R. Geotecnologias **em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul.** Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, INPE, São José dos Campos, 212 p. 2004. http://www.obt.inpe.br/pgsere/Rizzi-R-2004/publicacao.pdf. Acesso em 03/01/2015

RODRIGUES JUNIOR, F. A.; VIEIRA, L. B.; QUEIROZ, D. M. de; SANTOS, N. T. **Geração de zonas de manejo para cafeicultura empregando-se sensor SPAD e análise foliar.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande. Ago 2011, vol. 15, n. 8, p. 778-787. ISSN 1415-4366

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 Itapecerica, Alto São Francisco, em Minas Gerais.** Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, Paraná. 2013. p. 1472-1479.

ROUSE, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS.** In: Third ERTS Symposium, Proceedings, NASA SP-351, NASA, Washignton, DC, v. 1, p. 309-317, 1973.

RUNGE, E.; ODELL, R.T. **The relation between precipitation temperature and the yield of soybeans on the agronomy south farm.** Agronomy Journal, v.52, n.5, p.245-247, 1960. Disponível em https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/52/5/AJ0520050245.

SANTI, A.L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. 2007. 150p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
SRIVASTAVA, R. M.; ROUHANI, S.; CROMER, M. V.; JOHNSON, A. I.; DESBARATS, A. J. (Ed.). **Geostatistics for environmental and geotechnical applications.** West Conshohocken: ASTM, 1996. p. 13-19. http://dx.doi.org/10.1520/STP16110S

STAGGENBORG, S. **Estabilidade de rendimento; Introdução ao Easi-Suite; Amostragem de solo para manejo sitio específico.** Disciplina de Agricultura de Precisão - Universidade Federal de Santa Maria. 2010. Disponível em http://w3.ufsm.br/projetoaquarius2/index.php?option=com_weblinks&view=category&id=38%3Avideo-aulas-dcg-ap-2010&Itemid=36. Acessado em 03/01/2015.

SOLIE, J. B. et al. **Real-time sensing and N fertilization with a field scale GreenSeeker applicator.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 6., 2002, Madison. Proceedings... Madison: ASA/CSSA/SSSA, 2002.

SUSZEK, G.; Souza, E. G.; Opazo, M. A. U.; Nóbrega, L. H. P. **Determination of management zones from normalized and standardized equivalent produtivity maps in the soybean culture.** Engenharia Agrícola, v.31, n.5, p.895-905, 2011. Disponível em:http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162011000500007.

SCHULER, R.T.; LANGTON, S.J.; WOLKOWSKI, R.P. **Remote sensing research in wiscosin soybean and corn production fields.** In: International Conference on Precision Agriculture, 4., Minnesota, Estados Unidos, Proceedings, p.1435-1445, 1998.

SWINTON, S. M.; LOWENBERG-DEBOER, J. **Evaluating the profitability of site-specific farming**. Journal of Production Agriculture, v. 11, p. 439-446, 1998. Disponivel em: https://dl.sciencesocieties.org/publications/jpa/abstracts/11/4/439?access=0&view=pdf

THYLÉN, L.; Jurschik, P.; Murphy, D.L.P. **Improving the quality of yield data**, In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1, 1997. Precision Agriculture 97, v.1, p.743-750. Warwick, 1997.

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

VIEIRA, S.R.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. **Spatial variability of field-measured infiltration rate.** Soil Science Society of America Journal, Madison, n.45, p.1040-1048, 1981.

VIEIRA, S. R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo.** Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 1-54. v. 1

VILELA, M. et al. **Mapeamento preliminar de zonas de manejo em sistema de produção milho-soja no Cerrado.** Em: Agricultura de Precisão para Culturas Anuais. 2010. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/926431/1/Mapeamentopreliminardezonas.PDF