

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

**DEFINIÇÃO DE ZONAS DE MANEJO POR ÍNDICES DE VEGETAÇÃO  
OBTIDOS POR SENSORIAMENTO REMOTO E MAPAS DE  
PRODUTIVIDADE**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Raffael Chielle Martins**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2017**

# **DEFINIÇÃO DE ZONAS DE MANEJO POR ÍNDICES DE VEGETAÇÃO OBTIDOS POR SENSORIAMENTO REMOTO E MAPAS DE PRODUTIVIDADE**

**Raffael Chielle Martins**

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.  
2017**

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

Martins, Raffael  
DEFINIÇÃO DE ZONAS DE MANEJO POR INDICES DE VEGETAÇÃO  
OBTIDOS POR SENSORIAMENTO REMOTO E MAPAS DE  
PRODUTIVIDADE / Raffael Martins.- 2017.  
62 p.; 30 cm

Orientador: Elódio Sebem  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em  
Agricultura de Precisão, RS, 2017

1. Imagens Orbitais 2. Agricultura de precisão 3.  
Manejo de solo 4. Mapas de Produtividade 5. Índices de  
Vegetação I. Sebem, Elódio II. Título. |

**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.

**Definição de Zonas de Manejo por meio de Sensoriamento Remoto Orbital**

elaborado por  
**Raffael Chielle Martins**

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

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

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

---

**Antoninho João Pegoraro, Dr. (UFSM)**

---

**Ademir Wendling, Dr. (Base Precisão na Agricultura)**

Santa Maria, de 2017.

## DEDICATÓRIA



**Fonte:** Arquivo pessoal

**Mensagem:** Ame seus pais, sua vida e seus amigos. Seus pais, porque são únicos. Sua vida, porque é curta demais. Seus amigos, porque são raros.

## **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 pelos exemplos de superação e dedicação.

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

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 da 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.

*É preciso sentir a necessidade da experiência, da observação, ou seja, a necessidade de sair de nós próprios para aceder à escola das coisas, se as queremos conhecer e compreender.*

*Émile Durkheim*

## RESUMO

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

### **Definição De Zonas De Manejo Por Índices De Vegetação Obtidos Por Sensoriamento Remoto E Mapas De Produtividade**

Autor: Raffael Chielle Martins

Orientador: Elódio Sebem

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 17 de fevereiro de 2017.

A agricultura de precisão (AP) nasce através da necessidade de integrar a tecnologia com os fundamentos de organização e sistematização de uma determinada área, empregando-a para um melhor gerenciamento das decisões agrônômicas. A AP prevê e aplica de forma correta, fazendo a reversão desse quadro, aliando tecnologias novas com informações precisas para o manejo das diferenças produtivas e dos fatores envolvidos na produção. Para estudar a variabilidade do solo devemos conhecer as características físicas e químicas do mesmo, como podem ser matéria orgânica, porosidade, umidade e partículas agregadas no solo. O estudo destas características físicas e químicas para a criação de zonas de manejo agrícola vem sendo feito em grids de amostragem com diversos tamanhos, mas já se tem conhecimento que grids muito grandes são ineficientes para a representação de toda a variabilidade existente nas áreas agrícolas. Para sanar esses problemas a AP utiliza como nova avaliação de variabilidade do solo, as zonas de manejo, porém não mais correlacionadas diretamente com amostragem de solo por sensores físicos a campo e sim fazendo-se uso do Sensoriamento Remoto (SR) através de índices de vegetação analisados em diferentes imagens orbitais. O trabalho tem por objetivo principal de utilizar, analisar e comprovar a aplicabilidade de diversos índices de vegetação obtidos por sensoriamento remoto orbital para a definição das zonas de manejo e comparar os resultados com mapas de produtividade, validando a criação de mapas de zonas de manejo como sendo mais uma ferramenta disponível da agricultura de precisão, permitindo ao produtor respostas rápida da variabilidade espacial de sua lavoura, com baixo custo e maior precisão no manejo do solo.

**Palavras-chave:** Imagens Orbitais, Zonas de manejo, Índices de Vegetação.

## RESUMEN

Tesis de Maestría  
Programa de Postgrado en Agricultura de Precisión  
Universidad Federal de Santa María  
**Definición de zonas de gestión a través de la Percepción Remota Orbital**  
Autor: Raffael Chielle Martins  
Asesor: Elodio Sebem  
Fecha y Lugar de defensa: Santa María 17 de febrero de 2017.

La agricultura de precisión (AP) nace por la necesidad de integrar la tecnología con la fundación de la organización y sistematización de un área determinada, usándolo para una mejor gestión del suelo. El AP proporciona y se aplica correctamente, por lo que la inversión de esta situación, la combinación de las nuevas tecnologías con la información precisa para la gestión de las diferencias de producción y factores que intervienen en la producción. Para estudiar la variabilidad del suelo debe cumplir con las características físicas y químicas de ella que sea la materia orgánica, la porosidad, la humedad y el agregado de partículas en el suelo. El estudio de estas características físicas y químicas para la creación de áreas de manejo agrícola ha estado en las redes de muestreo con diferentes tamaños, pero ya es consciente de que las redes muy grandes son ineficaces para la representación de toda la variabilidad en las zonas agrícolas. Para remediar estos problemas, el punto de acceso usará como una nueva evalúa no de la variabilidad del suelo, áreas de gestión, pero no directamente relacionada con la toma de muestras del suelo mediante sensores de campo físico, pero haciendo uso de la teledetección (RS) a través de las tasas vegetación analizado en diferentes imágenes orbitales. El trabajo tiene el objetivo principal de usar, analizar y verificar la aplicabilidad de los diferentes índices de vegetación obtenidos por teledetección para la definición de zonas de manejo y comparar los resultados con los mapas de rendimiento, la validación de la creación de la zona de gestión de mapas como siendo una agricultura de precisión disponibles más herramientas, permitiendo a los productores respuestas rápidas de la variabilidad espacial de su cosecha, con un bajo coste y una mayor precisión en el manejo del suelo.

**Palabras clave:** Imágenes orbitales, áreas de manejo, índice de vegetación

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Espectro Eletromagnético .....	19
Figura 2 - Partes do Semivariograma .....	25
Figura 3 – Principais Modelos Exponenciais .....	26
Figura 4 - Localização da área de estudo .....	29
Figura 5 - modelo do NDWI criado no Model Maker.....	32
Figura 6 - Mapa de composição RGB 342 para os anos de 2007 (A), 2008 (B) e 2009 (C)....	35
Figura 7 – Mapas de Rendimento (2007 (A), 2008 (B) 2009 (C), pontos do centroide dos polígonos (D) e exemplo de falta de dados (E) .....	36
Figura 8 - Resultados da krigagem da produtividade .....	39
Figura 9 - Zonas de produtividade para os anos de 2007, 2008 e 2009. ....	40
Figura 10 - Mapa de classes para o NDVI para os anos de 2007 a 2009. ....	41
Figura 11 - Mapa de classes para o DVI para os anos de 2007 a 2009 .....	41
Figura 12 - Mapa de classes para o NDWI para os anos de 2007 a 2009. ....	42
Figura 13 - Mapa de classes para o SAVI para os anos de 2007 a 2009. ....	43
Figura 14 - Mapa de classes para o TNDVI para os anos de 2007 a 2009.....	44
Figura 15 - Mapas de concatenação entre produtividade e TNDVI.....	45
Figura 16 - Mapas de concatenação entre produtividade e NDVI .....	46
Figura 17 - Mapas de concatenação entre produtividade e DVI .....	47
Figura 18 - Mapas de concatenação entre produtividade e NDWI.....	48
Figura 19 - Mapas de concatenação entre produtividade e SAVI.....	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação de aquisição dos dados de produtividade .....	30
Tabela 2 - Relação das imagens de satélite adquiridas do Catálogo do INPE. ....	30
Tabela 3 - Bandas Espectrais do visível e infravermelho próximo das imagens do satélite Landsat 5. ....	31
Tabela 4 – Estatísticas básicas para o Rendimento das safras agrícolas em estudo.....	37
Tabela 5 – Ajustes do Semivariograma .....	38
Tabela 6 - tabela de validação cruzada.....	38
Tabela 7 - Estimativa de zona de manejo pelo TNDVI em cada ano de análise e sua média aritmética. ....	45
Tabela 8 - Média aritmética dos 3 anos estimados para o índice NDVI .....	45
Tabela 9 - média aritmética dos 3 anos estimados para o índice DVI.....	46
Tabela 10 - Média aritmética dos 3 anos estimados para o índice NDWI .....	47
Tabela 11 - Média aritmética dos 3 anos estimados para o índice SAVI.....	48
Tabela 12- Concordância entre as zonas de manejo obtidas pelos mapas de rendimento e os índices de vegetação, em %.....	50

## LISTA DE SIGLAS

**A** - Alcance  
**AP** - Agricultura de Precisão  
**C** - Patamar  
**C0** - Efeito Pepita  
**C1** - Contribuição  
**DVI** - Índice de Vegetação Diferencial  
**GNSS** - Sistema de Navegação Global por Satélites  
**H** - Valor da distância  
**IVM** - Infravermelho Médio  
**IVP** - Infravermelho Próximo  
**L** - Coeficiente de adaptação  
**NDVI** - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada  
**NDWI** - Índice de Água em Vegetação por Diferença Normalizada  
**SAVI** - Índice de Vegetação Ajustado ao Solo  
**SR** - Sensoriamento Remoto  
**TNDVI** - Índice Normalizado de Vegetação por Diferença Transformado  
**V** - Reflectância na banda do Vermelho  
 **$\gamma(h)$**  - Valor da semivariância para o modelo de ajuste

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	15
1.1	OBJETIVOS .....	16
1.1.1	Objetivo geral .....	16
1.1.2	Objetivos específicos .....	16
2.	REVISÃO DA LITERATURA .....	17
2.1	AGRICULTURA DE PRECISÃO .....	17
2.2	MAPEAMENTO DA PRODUTIVIDADE .....	18
2.3	SENSORIAMENTO REMOTO E IMAGENS DE SATÉLITE .....	19
2.4	ÍNDICES DE VEGETAÇÃO .....	20
2.5	ZONAS DE MANEJO .....	23
2.6	GEOSTATÍSTICA .....	23
3.	MATERIAL E MÉTODOS .....	29
3.1	DESCRIÇÕES DA ÁREA EXPERIMENTAL .....	29
3.2	DEFINIÇÃO DOS DADOS UTILIZADOS PARA A ANÁLISE .....	30
3.3	OBTENÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITE .....	30
3.4	ESPACIALIZAÇÃO DA PRODUTIVIDADE .....	31
3.5	AJUSTE ESPACIAL DAS IMAGENS E CALCULOS DOS IVS .....	31
3.6	RECLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS DE PRODUTIVIDADE E IVS .....	33
3.7	CRUZAMENTO DOS MAPAS DE PRODUTIVIDADE COM OS MAPAS DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO .....	33
3.8	MATRIZ DE CONFUSÃO E PROBABILIDADE ESPERADA .....	34
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	35
4.1	ANÁLISE DAS IMAGENS LANDSAT E MAPAS DE RENDIMENTO .....	35
4.2	ANÁLISE GEOESTATÍSTICA .....	36
4.3	CLASSIFICAÇÃO DAS PRODUTIVIDADES E DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO .....	39
4.4	ALGEBRA DE MAPAS ENTRE A PRODUTIVIDADE E OS INDICES DE VEGETAÇÃO .....	44
4.5	MATRIZ DE CONFUSÃO E ÍNDICE DE CONFIANÇA GLOBAL ENCONTRADA PARA OS IVs. ..	49
5.	CONCLUSÕES .....	57

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	58
----------------------------------	----

## 1. INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão (AP) trata-se de um sistema de manejo de uma determinada área constituído de informações em que se tem como conceito de que as variabilidades de espaço e tempo influenciam diretamente nos rendimentos da produção. Tornando a área de plantio que antes era tratada como homogênea, aonde se levava o conceito de médias para as aplicações de insumos com a mesma formulação ou quantidade de fertilizantes e defensivos utilizados para toda a área, não considerando assim, as necessidades pontuais de cada parte do campo, ocasionando uma produtividade não uniforme nas lavouras.

A AP pretende prever e aplicar de forma correta, fazendo a reversão desse quadro, aliando tecnologias novas com informações precisas para o manejo das diferenças produtivas e dos fatores envolvidos na produção.

Para estudar a variabilidade do solo devemos conhecer as características físicas e químicas do mesmo, como podem ser matéria orgânica, porosidade, umidade e partículas agregadas no solo. O estudo destas características físicas e químicas para a criação de zonas de manejo agrícola vem sendo feito em grids de amostragem com diversos tamanhos, mas já se tem conhecimento que grids muito grandes são ineficientes para a representação de toda a variabilidade existente nas áreas agrícolas.

Por outro lado, a diminuição do tamanho do grid e conseqüentemente o aumento do número de pontos amostrais está relacionado ao alto custo para a realização deste tipo de estudo, devido aos custos dos processos de aquisição, análise em laboratório e interpretação desses resultados.

Para sanar esses problemas a AP utiliza como nova avaliação de variabilidade do solo, as zonas de manejo, porém não mais correlacionadas diretamente com amostragem de solo por sensores físicos a campo e sim fazendo-se uso do Sensoriamento Remoto (SR) por meio de índices de vegetação analisados em diferentes imagens orbitais. Este trabalho tem por objetivo principal analisar a aplicabilidade de diversos índices de vegetação obtidos por sensoriamento remoto orbital para a definição das zonas de manejo.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Analisar a aplicabilidade de diversos índices de vegetação obtidos por sensoriamento remoto para definição de zonas de manejo.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Avaliar e interpretar mapas de diferentes índices de vegetação obtidos por sensoriamento remoto para determinação de zonas de manejo com três classes de potencial produtivo: Alto, Médio e Baixo;

Relacionar as zonas de manejo obtidas pelos índices de vegetação com os resultados obtidos com os mapas de produtividade;

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO

A agricultura de precisão surgiu da necessidade de se considerar a variabilidade espacial e temporal existentes em uma área de produção agrícola, buscando a redução nas quantidades de insumos a serem aplicados e, conseqüentemente, a diminuição de custos e impactos ambientais. O termo Agricultura de Precisão é atribuído a um método de manejo das culturas que objetiva dar tratamento diferenciado em pequenas áreas, dentro de um mesmo talhão, considerando o potencial produtivo nessas áreas (Milani 2006).

Segundo CAMBARDELLA & KARLEN (1999) a Agricultura de Precisão contém três componentes primários: 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; um 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. Caracterizar a distribuição espacial dos atributos para o estabelecimento de zonas de manejo torna-se de grande importância para a otimização da produtividade agrícola, além da minimização de danos ambientais.

A agricultura de precisão não consiste simplesmente na habilidade em aplicar tratamentos que variam de local para local, porém, ela deve ser considerada com a habilidade em monitorar e acessar a atividade agrícola, precisamente em um nível local, tanto que as técnicas de agricultura de precisão devem ser compreendidas como uma forma de manejo sustentável, na qual as mudanças ocorrem sem prejuízos para as reservas naturais, ao mesmo tempo em que os danos ao meio ambiente são minimizados. Além de útil à agricultura de precisão, esta definição engloba a ideia de compromisso no uso da terra, relativamente às gerações futuras. Um manejo sustentável implica algo mais além da manutenção dos índices de produtividade (MANTOVANI et al., 1998).

Segundo CAPELLI (1999) agricultura de precisão apresenta as vantagens 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; a aplicação localizada dos insumos necessários para sustentar uma alta produtividade contribui com a preservação do meio ambiente, já que estes insumos são aplicados somente nos locais, quantidades e no tempo necessário.

## 2.2 MAPEAMENTO DA PRODUTIVIDADE

Devido a heterogeneidade das áreas, o mapeamento da produtividade é considerado por muitos autores como sendo a parte essencial da Agricultura de precisão, sendo um dos métodos mais corretos para estima-la. Segundo Molin (2000) a geração dos mapas de produtividade exige uma certa sofisticação para a obtenção dos dados essenciais. O mapa é composto por um conjunto de pontos e cada ponto representa uma pequena porção da lavoura delimitada pela largura da plataforma da coletora e pela distância entre duas leituras.

Através da normalização e comparação desses mapas de produtividade define-se as áreas com a mesma tendência, produzindo um banco de dados com as informações necessárias para a área de estudo e classificando as regiões por faixas de importância criando assim as zonas de manejo.

O mapa de produtividade é apenas uma etapa de todo o processo que envolve a agricultura de precisão e representa o efeito combinado de diversas fontes de variabilidade espacial e temporal. Uma parte dessa variabilidade pode ser atribuída a fatores que são constantes ou variam lentamente, enquanto outros fatores são transitórios, mudando em sua importância e distribuição espacial e temporal de uma safra para outra (Capelli, 2004).

O método que permite a geração dos mapas detalhados de produtividade exige certa sofisticação para a obtenção dos dados essenciais. Inicialmente assume-se que o mapa de produtividade de um talhão é um conjunto de muitos pontos. Cada ponto representa uma pequena porção da lavoura (Molin,2000).

A interpretação do mapa de produtividade é imprescindível para a correção dos fatores de produção que persistem ao longo do tempo, tais como: variação do tipo de solo na área plantada e outros como acidez do solo em locais específicos, deficiência de fertilizantes, ou mesmo, formulação inadequada de N-P-K e locais com falta ou excesso de água (Capelli, 2004).

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.

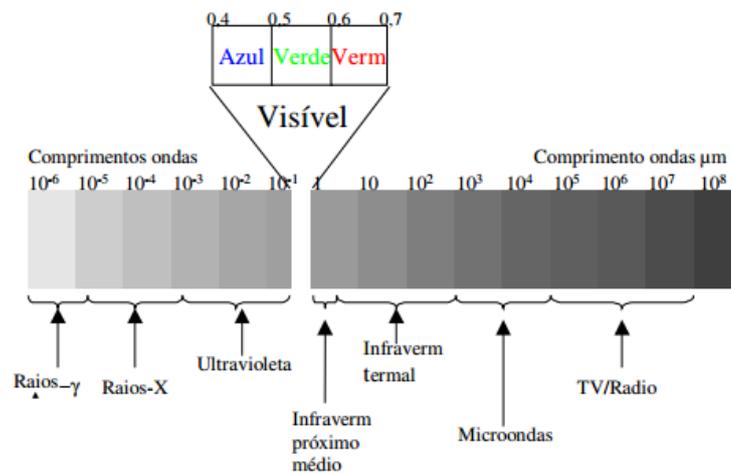
### 2.3 SENSORIAMENTO REMOTO E IMAGENS DE SATÉLITE

O Sensoriamento Remoto tem por definição como ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres (como seus índices de resposta espectral entre folhas, solo, rocha, etc).

Também é classificado como a arte e a ciência de estudar a matéria sem ter contato físico com a mesma baseando-se somente da interação da radiação eletromagnética com a matéria (Lillesand & Kieffer, 1994). Ou seja, ciência de observação à distância (Barret & Curtis (1992).

O Sensoriamento remoto utiliza sensores para coletar informações dos alvos, essas informações são obtidas pelos sensores posicionados em longas ou curtas distâncias, através da captura dos comprimentos das ondas eletromagnéticas, também denominadas como radiação eletromagnética, que são emitidas ou refletidas pelos objetos, conforme é apresentado na 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 - Espectro Eletromagnético



Fonte: <http://www.ufrgs.br/engcart/PDASR/rem.html>

Segundo 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. Tornando o sensoriamento remoto uma alternativa para elaboração de mapas de produtividade, conforme Araújo et al. (2004) 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.

## 2.4 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Os índices de vegetação resultam de combinações lineares de dados espectrais, realçando o sinal da vegetação, que minimizam as variações na irradiância solar e os efeitos do substrato do dossel vegetal (JACKSON e HUETE, 1991). 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.

Nesse sentido, possibilitam comparações espaciais e temporais da atividade fotossintética terrestre, facilitando, assim, o monitoramento sazonal, interanual e variações de longo prazo dos parâmetros estruturais, fonológicos e biofísicos da vegetação (WANG et al., 2003).

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).

### 2.4.1 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA

Um dos índices de vegetação mais utilizados é razão normalizada (NDVI), proposto pela Kriegler et al. (1969). Semelhante à razão simples o NDVI se adapta bem com as características desejáveis para diferentes associados com o crescimento da vegetação, o tipo

de ecossistema e os parâmetros do ambiente. Seu cálculo consiste em uma razão entre as variáveis das bandas do vermelho e do infravermelho próximo, produzindo um valor de índice que varia de -1 (sem vegetação) para +1 (cobertura vegetal densa e saudável).

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V} \quad (1)$$

Onde:

IVP: Valor da reflectância da banda no infravermelho próximo;

V: Valor da reflectância da banda no vermelho;

#### 2.4.2 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DIFERENCIAL

O índice de vegetação diferencial é considerado o índice mais simples, foi utilizado por Tucker em 1979 por ser sensível à quantidade de vegetação, pode não ser lida com a diferença da reflectância e luminosidade causadas pela atmosfera ou pelas sombras.

$$DVI = IVP - V \quad (2)$$

Onde:

IVP: Valor da reflectância da banda no infravermelho próximo;

V: Valor da reflectância da banda no vermelho;

#### 2.4.3 NDWI: ÍNDICE DE ÁGUA EM VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA

Foi usado primeiro por Hardisky et al. (1993), em que nos permite "medir" a quantidade de água da cobertura vegetal.

$$NDWI = \frac{IVP - IVM}{IVP + IVM} \quad (3)$$

Onde:

IVP: Valor da reflectância da banda no infravermelho próximo;

IVM: Valor da reflectância da banda no infravermelho médio;

#### 2.4.4 ÍNDICE NORMALIZADO DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA TRANSFORMADO

O TNDVI é indicado para a comparação da biomassa das plantas de várias condições ambientais locais. O índice de vegetação é uma modificação do NDVI (Rouse et al 1974; Deering et al 1975) que é adicionado 0,5 à raiz quadrada do resultado calculado. Para imagens de satélite Landsat TM temos:

$$TNDVI = \sqrt{(IVP - V / IVP + V) + 0,5} \quad (4)$$

Onde:

IVP: Valor da reflectância da banda no infravermelho próximo;

V: Valor da reflectância da banda no vermelho;

#### 2.4.5 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO AJUSTADO AO SOLO

Ele foi desenvolvido por Huete (1988) e é um híbrido entre um baseado no quociente e no índice perpendicular. O coeficiente de adaptação (L) foi encontrado por experimentação e erro, ele dá o mesmo índice de resultados de vegetação em solos escuros e claros. As linhas de isovegetação convergem no espaço próximo e negativo do quadrante, sendo estas características do vermelho e infravermelho próximo.

O fator de correção L da equação assume o valor 0 para a cobertura de vegetação alta, 1 para um nível muito baixo e 0,5 cobertura para a cobertura intermediária.

$$SAVI = \frac{IVP - V}{IVP + V + L} (1 + L) \quad (5)$$

Onde:

IVP: Valor da reflectância da banda no infravermelho próximo;

V: Valor da reflectância da banda no vermelho;

L: Coeficiente de adaptação;

## 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 empregados, no manejo das culturas, os mesmos sistemas utilizados na agricultura convencional (RODRIGUES JUNIOR et al, 2011).

Luchiari Junior et al. (2000) conceituam zonas de manejo como sendo áreas do terreno de igual 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.

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.

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 & 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).

A Geoestatística parte do princípio que quanto mais próximas as suas amostras estão espacialmente, mais parecidas entre si elas se parecem. Segundo Soares (2006), abrange um conjunto de métodos, técnicas e instrumentos estatísticos que caracterizam os fenômenos espaciais naturais e tem por objetivo a caracterização da dispersão espacial e espaço-temporal das grandezas que definem a quantidade e a qualidade de recursos naturais e outros fenômenos em que os atributos manifestem certa estrutura no espaço e ou no tempo.

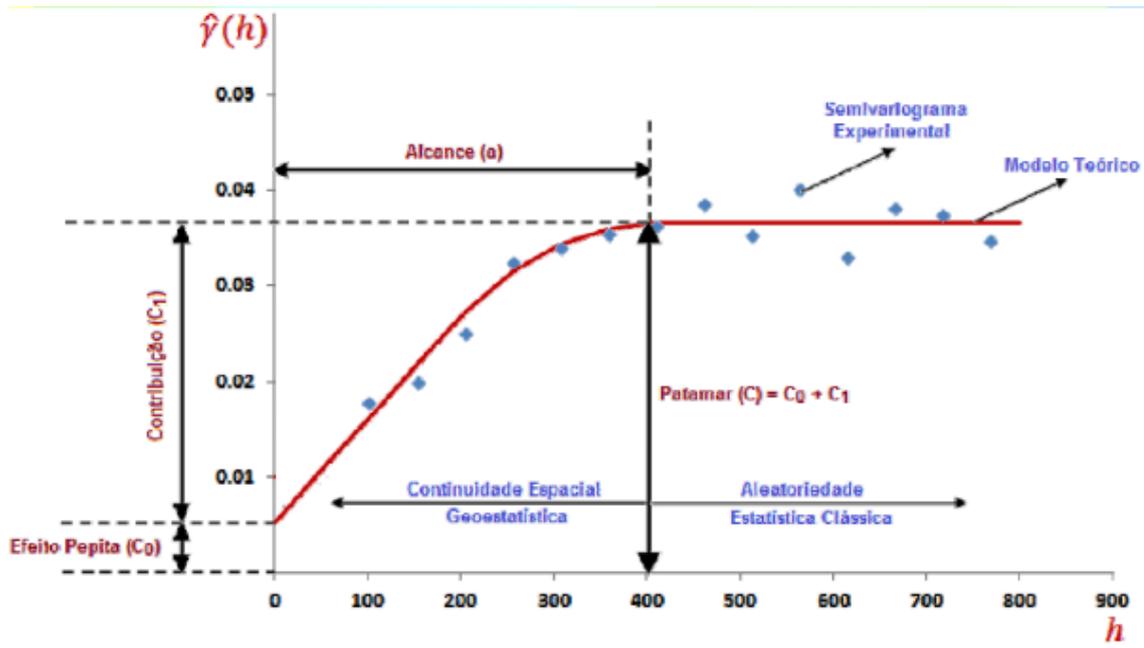
Através desse conceito, destaca-se o método de interpolação por krigagem, sendo considerada uma boa metodologia de interpolação de dados, ela utiliza o dado tabular e sua posição geográfica para calcular as interpolações. Baseia-se no princípio da primeira Lei de Geografia de Tobler, na qual se refere que as unidades mais próximas entre si, são as mais parecidas, do que as unidades mais afastadas. Com este método, pode-se estimar o valor de uma dada propriedade em local não observado, utilizando uma função de correlação espacial entre os dados, sem viés e com variância mínima (VIEIRA,2000).

A krigagem utiliza métodos matemáticos para acrescentar maiores pesos nas posições mais próximas aos pontos de amostragem e pesos menores nas mais distantes, variando de 0 para as mais distantes até 1 para as mais próximas, criando assim novos pontos de interpolação com bases nessas combinações de dados lineares. A krigagem tem por característica particular, que o diferencia e a torna superior aos demais métodos de estimação, o fato de permitir o cálculo do erro associado às estimativas, chamado de variância de estimação.

O variograma é uma ferramenta básica de suporte às técnicas de krigagem, que permite representar, quantitativamente, a variação de um fenômeno regionalizado no espaço (Huijbregts, 1975). A partir de gráficos como o semivariograma, a superfície dos dados interpolados é criada e pode-se ter uma ideia da segregação espacial das variáveis regionalizadas e o alcance de segregação no espaço.

Embora o variograma deva passar pela origem  $y = 0$ , normalmente ele aparece cortando o eixo vertical em um valor positivo, chamado de efeito pepita. O seu padrão representa o que, intuitivamente, se espera de dados de campo, isto é, que as diferenças decresçam a medida que a distância que os separa, decresce.

Figura 2 - Partes do Semivariograma



Fonte: [http://200.132.36.199/elodio/downloads/ppgap/Geoestatistica\\_AP\\_05.pdf](http://200.132.36.199/elodio/downloads/ppgap/Geoestatistica_AP_05.pdf)

Onde:

Alcance ( $a$ ): distância que as amostras se apresentam correlacionadas espacialmente;

Patamar ( $C$ ): valor do variograma correspondente ao seu alcance. Após este ponto considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras porque a variância da diferença entre pares de amostras torna-se invariante com a distância.

Efeito Pepita ( $C_0$ ): igualmente igual a zero, porém na prática à medida em que a distância tende a zero,  $\gamma(h)$  se aproxima de um valor positivo, que revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras.

Garcia (1988) categoriza o efeito de pepita relativo da seguinte forma: a)  $E < 0,15$  - sendo componente aleatória pequena; b)  $0,15 < E < 0,30$  o componente aleatória significativa; e c)  $E > 0,30$  o componente aleatória muito significativa. Outros modelos também considerando razões entre estes parâmetros são usados para classificar a estrutura espacial da variação em: forte, média e fraca (CAMBARDELLA et al., 1994; ZIMBACK, 2001).

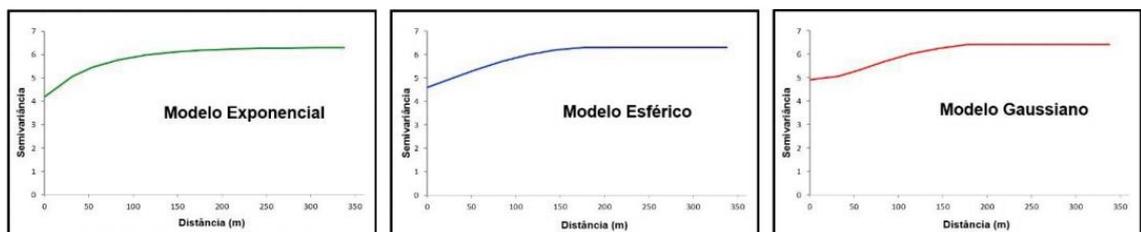
Contribuição ( $C_1$ ) é a diferença entre o patamar ( $C$ ) e o efeito pepita ( $C_0$ );

Após a análise variográfica e a possibilidade de estimação por técnicas de geoestatísticas, pode-se proceder a uma estimação de valores em locais não amostrados. O ajuste do variograma é um dos aspectos mais importantes da análise geoestatística. O método de tentativa e erro, aliado ao exame de indicadores de melhor ajuste. Alguns coeficientes,

como o coeficiente de correção, a raiz quadrada do erro médio (RMSE) podem auxiliar na validação do modelo escolhido e dos parâmetros para o ajuste do variograma. O ajuste por métodos automáticos, embora possa ser usado, não é o mais adequado para acervos com baixa densidade amostral.

McBratney e Webster (1986) indicam que os modelos mais adequados para os mais variados tipos de situações, na maioria dos casos, serão esférico, exponencial ou gaussiano (Figura 3).

Figura 3 – Principais Modelos Exponenciais



Fonte: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/146837/1/GeoVesper-cap-3.pdf>

Segundo Oliveira e Grego (2015) o modelo exponencial é o que representa processos que tem a maior perda de semelhança com a distância. Dados de precipitação pluviométrica normalmente são ajustados por este modelo. Atinge o patamar exponencialmente, por isso possui apenas uma estrutura onde  $d$  é a máxima distância na qual o variograma é definido. O parâmetro ( $a$ ) é determinado visualmente como a distância após a qual o variograma se estabiliza. Este modelo é determinado pela equação:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[ 1 - e^{-3\frac{h}{a}} \right] \quad (6)$$

Ainda Oliveira e Grego (2015) define que o modelo esférico possui duas estruturas, uma com a distância entre zero e o alcance, e outra maior do que o alcance, onde atinge o patamar. O modelo esférico é linear até aproximadamente 1/3 do alcance, representado pela equação:

$$\begin{aligned} \gamma(h) &= C_0 + C \left[ 1,5 \frac{h}{a} - 0,5 \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right] & \text{para } h < a \\ \gamma(h) &= C_0 + C & \text{para } h \geq a \end{aligned} \quad (7)$$

Onde:

C0; C1: parâmetros de ajuste;

H: valor da distância;

$\gamma(h)$ : valor da semivariância para o modelo de ajuste,

O modelo Gaussiano o inicia com uma queda nos primeiros valores de semivariância para as menores distâncias, e após este início há um crescimento da semivariância até o alcance, onde é atingido o patamar. Tem um crescimento bastante lento no início, até atingir um ponto de inflexão antes do alcance. Os dados mais comuns de ocorrência de modelo gaussiano são cotas topográficas. Ele é definido pela equação:

$$\gamma(h) = C0 + C1 \left[ 1 - e^{\left(-3\left(\frac{h}{a}\right)^2\right)} \right] \quad (8)$$

## 2.7 ALGEBRA DE MAPAS

O tema “álgebra de mapas” foi popularizado a partir dos livros “Geographic Information System and Cartographic Modeling” (Tomlin, 1990). Esta foi a primeira abordagem em que se buscou explorar de uma maneira formal as propriedades dos dados representados em SIG, usualmente representados por mapas. Ferramentas como o GRID (ArcInfo), o IDRISI e o IDL, foram essencialmente concebidas sob tal paradigma, no qual operações de modelagem são representadas por sequências de operações primitivas descritas através de uma linguagem que procura respeitar as propriedades dos tipos de dados envolvidos.

O conceito de álgebra de mapas ou álgebra de campos pode ser visto como uma extensão da álgebra tradicional, com um conjunto de operadores onde as variáveis manipuladas são campos geográficos (Berry,1993). Estes operadores manipulam um, dois ou mais geo-campos, sendo que cada geo-campo descreve um atributo diferente ou um mesmo atributo com datas de aquisição diferentes. As operações sobre geo-campos podem ser classificadas como: pontuais, zonais e de vizinhança (Tomlin,1990).

## 2.8 MATRIZ DE CONFUSÃO

A exatidão de um mapa indica à proximidade de uma determinada medida ao seu valor real, logo, a confiabilidade de um mapa está vinculada a sua exatidão. Neste contexto, é necessário realizar algum procedimento estatístico, no produto de uma classificação de imagens digitais, para determinar a acurácia ou exatidão desta classificação (Bernardes, 2006).

No processo de análise dos dados do sensoriamento remoto, um passo fundamental é a avaliação da precisão temática. Os usuários necessitam saber quão confiáveis são os dados provenientes dos mapas temáticos, derivados da classificação de um produto do sensoriamento remoto, e através da matriz de confusão é possível derivar medidas e consequentemente verificar erros oriundos do processo de atribuição dos pixels a determinadas classes (Vieira, 2000).

A matriz de confusão segundo Prina e Trentin (2015) é a forma de representação da qualidade obtida de uma classificação digital de imagem, sendo expressa por meio da correlação de informações dos dados de referência (compreendido como verdadeiro) com os dados classificados.

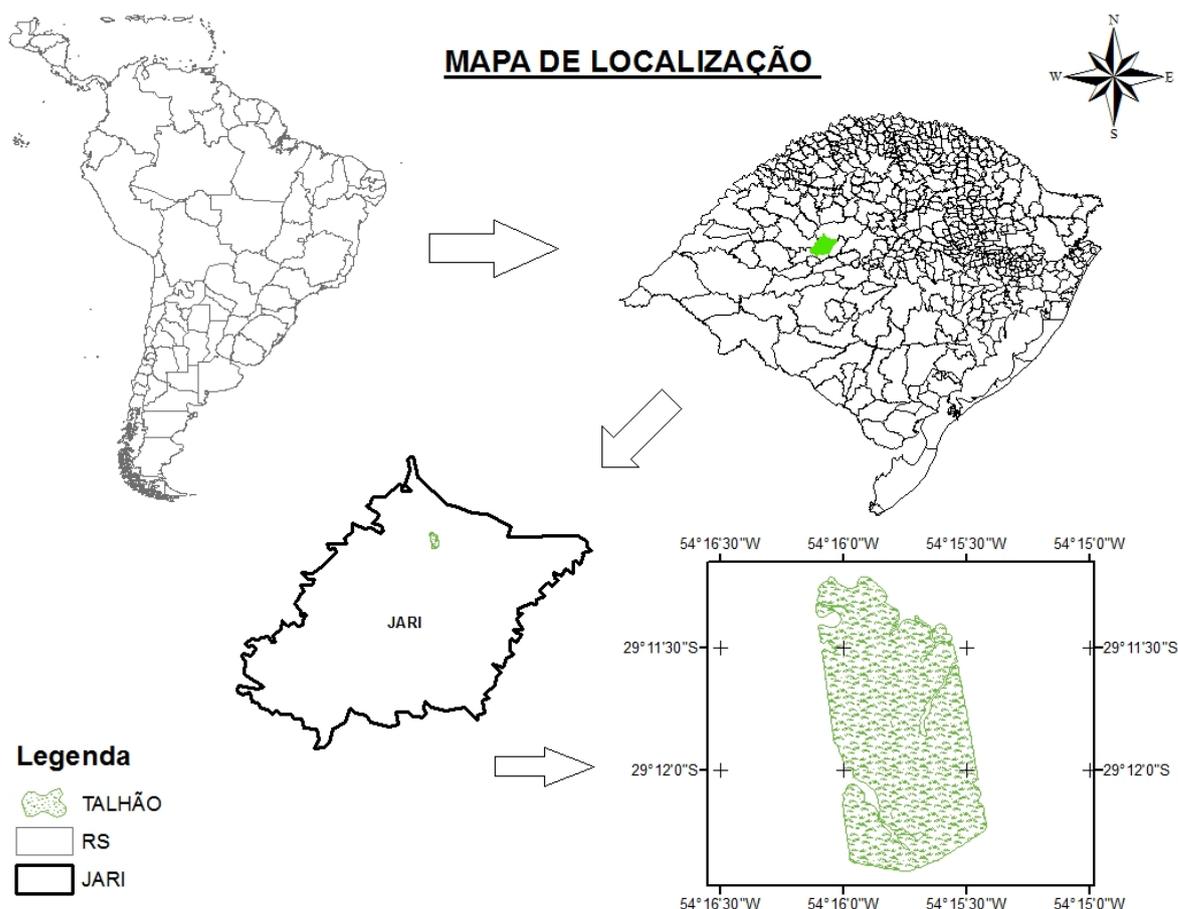
### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 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 (lavoura com 167,3ha) são 29°12'32" S e 54°15'45" O, conforme mostra a figura 4.

Conforme a classificação do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (Embrapa), nesta região o solo predominante é argilo-arenoso, classificado como Latossolo Vermelho Distroférico, o clima segundo Köppen-Geiger é considerado mesotérmico úmido sem estação seca e está localizada em uma zona tropical à temperada.

Figura 4 - Localização da área de estudo



Fonte: Autor.

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; recomendações 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

Foram utilizados para a elaboração dos mapas 3 safras distintas de anos subsequentes, cujos plantios foram entre a cultura de trigo para o primeiro ano e soja para os dois anos seguintes, conforme é demonstrado na tabela abaixo:

Tabela 1 - Relação de aquisição dos dados de produtividade

<b>Safra</b>	<b>Cultura</b>	<b>Variedade</b>	<b>Data de plantio</b>	<b>Data de colheita</b>	<b>Ciclo da cultura (dias)</b>
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

Fonte: Banco de dados pessoal do proprietário

### 3.3 OBTENÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITE

Para 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 nuvens, solo exposto ou fase de maturação da cultura. As datas de obtidas no catálogo de imagens do INPE estão representadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Relação das imagens de satélite adquiridas do Catálogo do INPE.

<b>Safra</b>	<b>Cultura</b>	<b>Satélite</b>	<b>Data da imagem</b>	<b>Data fenológica do cultivo (dia)</b>
2007	Trigo	Landsat 5	29/09/2007	88
2008	Soja	Landsat 5	04/02/2008	67
2009	Soja	Landsat 5	21/01/2009	78

Fonte: Banco de dados INPE

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](http://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, com características conforme a tabela 3:

Tabela 3 - Bandas Espectrais do visível e infravermelho próximo das imagens do satélite Landsat 5.

Banda	Faixa espectral - Landsat 5
1	0,45 a 0,52 $\mu\text{m}$ - azul
2	0,52 a 0,60 $\mu\text{m}$ - verde
3	0,63 a 0,69 $\mu\text{m}$ - vermelho
4	0,76 a 3 $\mu\text{m}$ - infravermelho próximo
5	3 a 6 $\mu\text{m}$ - infravermelho médio

Fonte: Divisão de Geração de Imagens – INPE

### 3.4 ESPACIALIZAÇÃO DA PRODUTIVIDADE

Pôr a lavoura não ser homogênea, ela apresenta falta de dados de rendimento em algumas partes, no entanto, com a classificação da imagem torna-se possível sanar essa falta. As imagens são transferidas para a plataforma do sistema Erdas, em que são submetidas aos algoritmos criados no model maker para a poder gerar a classificação.

Para filtragem e análise dos dados obtidos foi utilizado o programa ArcGis 10.3, aonde por meio dos vetores dos pontos de produtividade foi possível calcular as coordenadas E e N do centroide do polígono de amostragem, obtendo assim, a área de cada polígono de amostragem, fazendo a eliminação de áreas com menos de 50m<sup>2</sup>.

Para análise geoestatística das imagens foi utilizado o programa GS+, nele definiu-se como base o modelo exponencial para análise dos histogramas de frequência, obtendo os valores de rendimento para a produtividade.

Utilizou-se também o método da krigagem, retirando o valor do ponto amostrado e obtendo a estimativa do mesmo, usando os valores dos pontos vizinhos. Assim alcançando o erro associado a estimativa (Z). Finalizando a análise as imagens foram exportadas no formato .ASC para a utilização no software ArcGis.

### 3.5 AJUSTE ESPACIAL DAS IMAGENS E CALCULOS DOS IVS

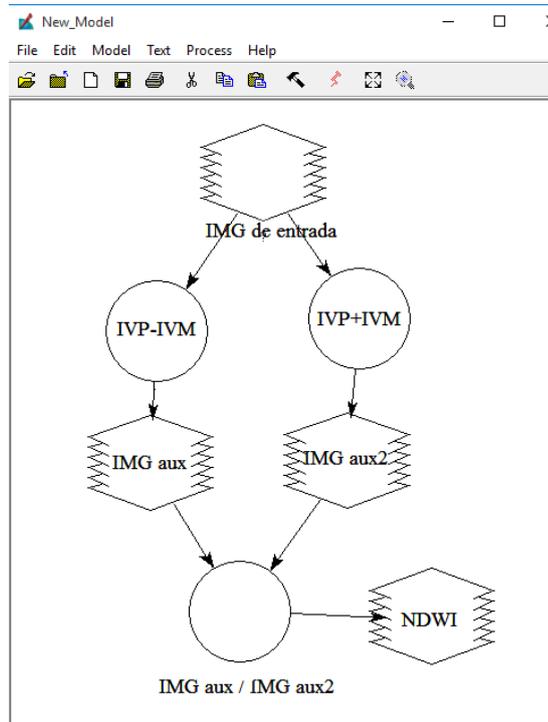
Todas as imagens foram georreferenciadas para a mesma localização nas diferentes safras, o que significa que todos os mapas de uma mesma área apresentam exatamente a mesma estrutura de espacialização.

Foram definidos com base em leituras de artigos e teses os índices de vegetação que seriam utilizados para análise. Definiu-se que os índices a serem analisados seriam o NDVI, DVI, NDWI, TNDVI e SAVI.

Com as imagens obtidas e com os índices definidos foi realizado o cálculo da reflectância, no qual consiste basicamente em, converter os dados brutos (números digitais) em valores físicos de reflectância, utilizando-se para isso os coeficientes apresentados por CHUVIECO (2008).

Posteriormente as imagens foram abertas no programa ERDAS para o cálculo dos índices de vegetação, para isso, utilizou-se a ferramenta Model Maker, no qual criou-se os modelos e algoritmos para o cálculo de cada índice conforme é demonstrado na figura 5.

Figura 5 - modelo do NDWI criado no Model Maker



Após a geração dos cálculos dos índices de vegetação as imagens foram recortadas conforme o shape do contorno da área experimental. Podendo assim realizar o fatiamento de classes para os índices, no qual correspondem 1 para Baixa, 2 para Média e 3 para Alta.

### 3.6 RECLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS DE PRODUTIVIDADE E IVS

O Rendimento por Produtividade e pelos índices foram elaboradas considerando os mapas de rendimento absoluto e dos índices, respectivamente, de cada cultura e cada safra.

Como referência para a criação dos parâmetros de desenvolvimento e interpretação da estabilidade de rendimento, optou-se em utilizar nas análises, os índices de produtividade conforme Veiverberg 2016 no qual foram estipulados os seguintes valores para as safras de trigo:

- Baixa: 0 a 2200 kg ha<sup>-1</sup>
- Media: 2200 a 3000 kg ha<sup>-1</sup>
- Alta: > 3000 kg ha<sup>-1</sup>

E para a safra de soja:

- Baixa: 0 a 2600 kg ha<sup>-1</sup>
- Media: 2600 a 3800 kg ha<sup>-1</sup>
- Alta: > 3800 kg ha<sup>-1</sup>

### 3.7 CRUZAMENTO DOS MAPAS DE PRODUTIVIDADE COM OS MAPAS DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Foi realizada a concatenação das classes obtidas nos mapas de produtividade e os índices de vegetação para analisar se houve concordância de classificação das zonas agrícolas em cada pixel. Para facilitar este trabalho de concatenação foi utilizada a álgebra de mapas de tal maneira a obter uma imagem numérica final que expresse todas as possibilidades do espaço amostral (MONGUILHOTT, 2016).

No programa ArcGIS foi utilizado a função “Map Algebra”, em que os mapas de produtividade e dos índices de vegetação foram somados para a realização da análise espacial de cada índice para cada ano e safra.

Após este processo as tabelas geradas através da álgebra de mapas foram exportadas e analisadas no Excel, obtendo a porcentagem de cada índice em que o índice de vegetação superestimou, subestimou ou manteve o mesmo desempenho em relação a produtividade.

### 3.8 MATRIZ DE CONFUSÃO E PROBABILIDADE ESPERADA

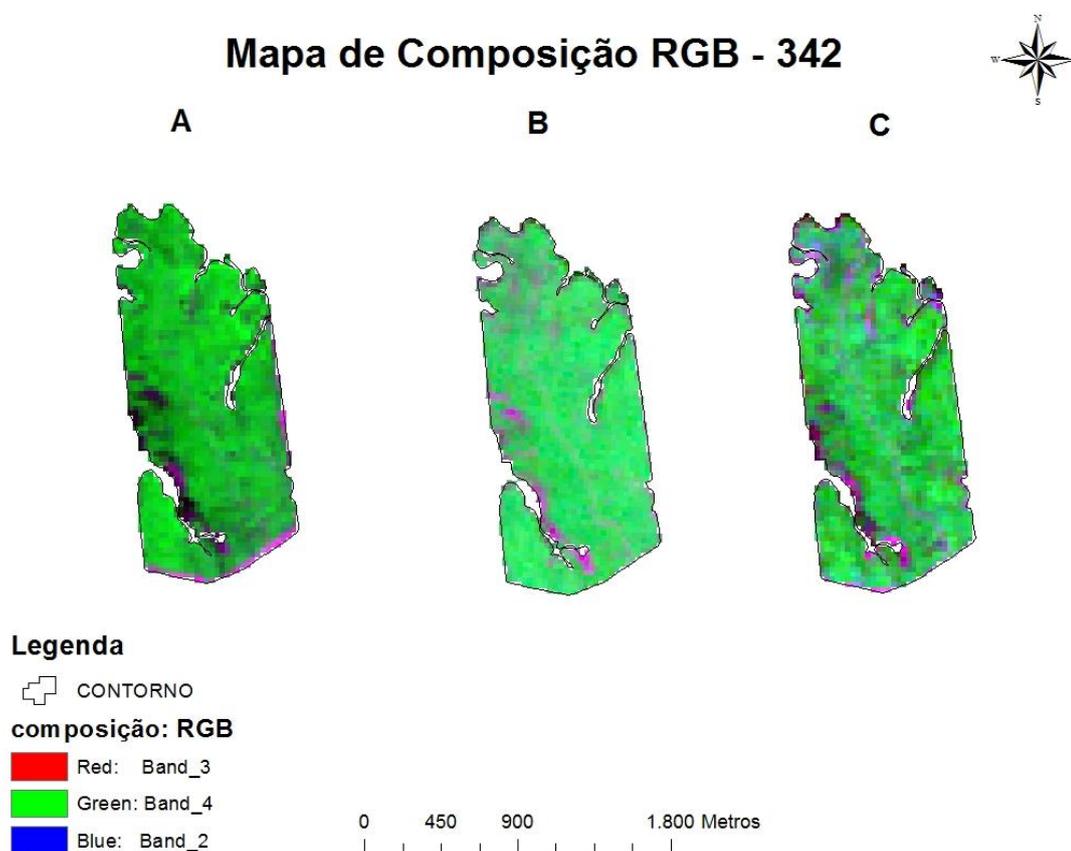
Utilizando os conceitos de matriz de confusão podemos estudar os resultados da concatenação das imagens e obter os valores de acerto e erro, de forma a gerar a probabilidade esperada e confiança global para cada índice de vegetação e ano do estudo, validando assim a metodologia aplicada.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ANÁLISE DAS IMAGENS LANDSAT E MAPAS DE RENDIMENTO

Ao analisar as imagens de satélite Landsat foi selecionada imagens que demonstrassem o desenvolvimento vegetativo da cultura sem ter as influências de nuvens, solo exposto e saturação da imagem, podendo assim criar a composição RGB 342 para análise visual da imagem e também a localização exata do talhão como é demonstrado na figura 6.

Figura 6 - Mapa de composição RGB 342 para os anos de 2007 (A), 2008 (B) e 2009 (C).

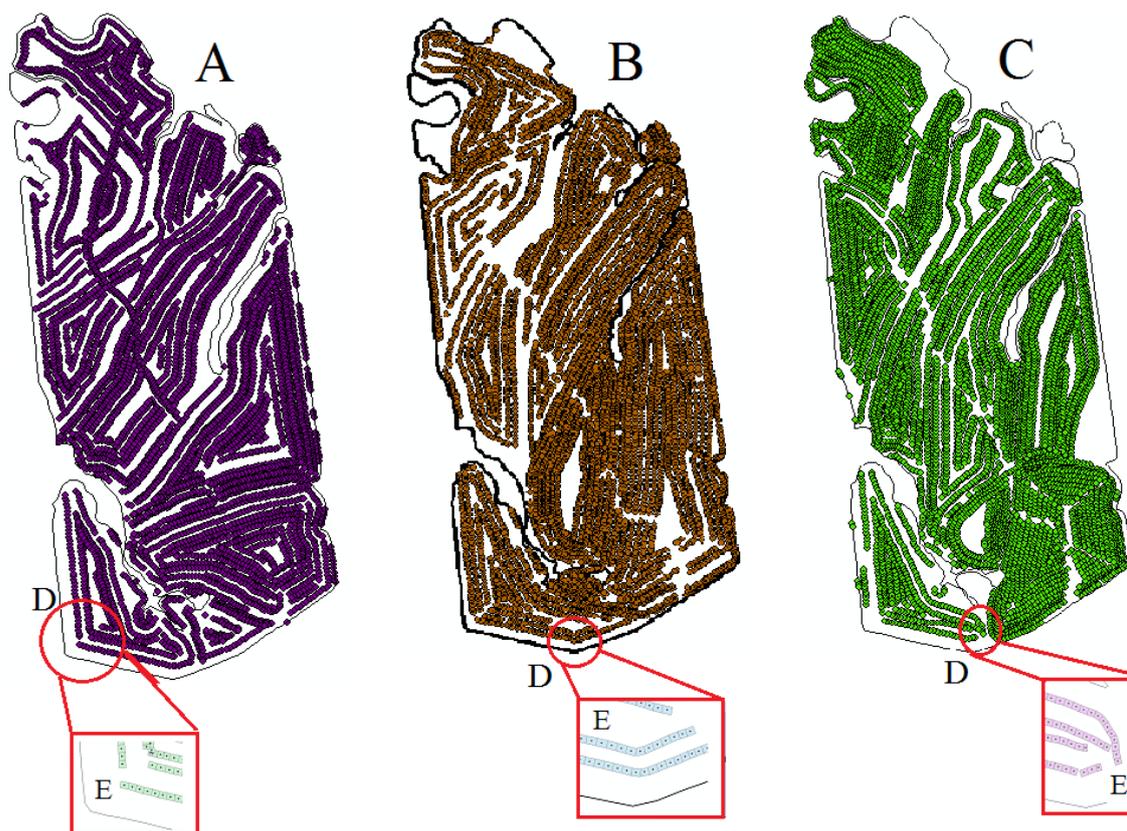


Fonte: autor.

Com a realização da análise espacial e visual os dados foram filtrados para cada safra, totalizando 253 pontos para o ano de 2007, 377 para o ano de 2008 e 899 pontos para o ano de 2009 sendo estes, retirados do estudo para evitar os erros grosseiros, devido a discrepância de valores de suas áreas, constituindo 6377 pontos analisados em 2007, 6333 em 2008 e 8200 pontos analisados para o ano de 2009. Após a filtragem foi gerado pelo software ArcGIS as coordenadas E e N dos pontos dos centroides dos polígonos de amostragem, obtendo a

produtividade de cada ponto. Conforme é representado na figura 7 várias partes da lavoura não são alcançadas pelos polígonos gerando assim uma falta de dados para uma melhor estimativa das zonas de manejo.

Figura 7 – Mapas de Rendimento (2007 (A), 2008 (B) 2009 (C), pontos do centroide dos polígonos (D) e exemplo de falta de dados (E)



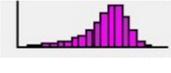
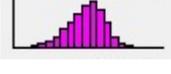
Fonte: autor.

## 4.2 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA

Com as coordenadas do ponto dos centroides dos polígonos foram analisados através do programa GS+ a distribuição espacial dos pontos no histograma de validação, gerando o modelo exponencial para análise dos três anos.

Para o ano de 2007 a 2009 foram gerados os índices de média, desvio padrão, coeficiente de variação, valor mínimo e máximo da produtividade e a distribuição do histograma, conforme é representado na tabela 4.

Tabela 4 – Estatísticas básicas para o Rendimento das safras agrícolas em estudo.

ANO	M	DP	MIN	MAX	CV	AS	CT	DISTIB.
2007	2594,7	544,3	657,61	4587,54	29,63	-0,67	1,22	
2008	3475,6	679,7	1095,31	5159,00	46,21	-0,94	0,82	
2009	3113,2	707,2	594,03	5844,28	50,02	-0,26	0,36	

M- média, DP – desvio padrão, MIN- produtividade mínima (kg ha<sup>-1</sup>), MAX – produtividade máxima; CV – coeficiente de variação; CT - curtose e DISTIB – distribuição frequências dos dados.

Nota-se que a área apresenta uma média de 2594,7 para o ano de 2007, assim como 3475,6 para 2008 e 3113,2 para 2009 com uma dispersão média de 544,3 para 2007 e 679,9 e 707,2 para os anos subsequentes. Os dados para os três anos apresentam uma moderada dispersão, segundo o coeficiente de assimetria de Person as três assimetrias são consideradas moderadas e negativas. Os coeficientes de curtose indicam uma curva de frequência platicúrtica, ou seja, mais aberta que a normal (mesocúrtica).

Podemos considerar que a produtividade apresenta distribuição normal e assim realizar os ajustes semivariográficos em que se pode observar os índices de Efeito Pepita, Contribuição, Alcance, Residual, R<sup>2</sup>, Dependência Espacial.

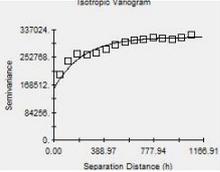
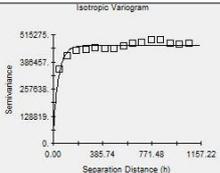
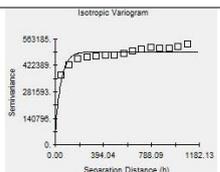
Através da tabela 5 podemos observar que foi utilizado para os três anos o modelo exponencial. Apresentando para o ano de 2007 uma variável com moderada dependência espacial e para os anos de 2008 e 2009 uma variável com fraca dependência espacial, isso devido provavelmente a distribuição espacial dos pontos a campo como representado anteriormente na figura 7.

A medida descritiva da qualidade do ajuste obtido (r<sup>2</sup>), mostrou-se adequado ao proposto mantendo-se em 0,5 para o ano de 2007 e 0,87 para os demais anos. Este valor deve-se a uma qualificação dos pontos apenas baseada na área e o ajuste do variograma baseado na tentativa e erro, para o melhor ajuste. Na tabela 6 podemos analisar os resultados da validação cruzadas.

Podemos observar que para os três anos a reta ajustada está praticamente igual a reta a 45º, os coeficientes de regressão (coeficiente angular) dos três anos com erros padrão de 0,01 indicam que são estatisticamente iguais a 1. O ajuste do coeficiente de determinação varia de 0,49 para o ano de 2007 e 0,59 para 2008 e 2009 podendo ser considerados relativamente

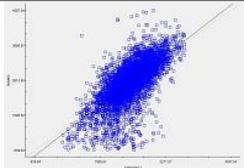
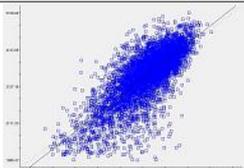
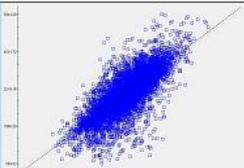
baixo, devido ao grande número de observações e sabendo-se que este coeficiente é altamente influenciado pelo número de pares, podemos considera-lo como satisfatório.

Tabela 5 – Ajustes do Semivariograma

ANO	EP	P	AL	R	r <sup>2</sup>	DE	MODELO
2007	1575	31510	672	1,35E+09	0,942	0,500	
2008	5900	46430	126	3,94E+09	0,778	0,873	
2009	6100	49530	141	8,50E+09	0,682	0,877	

EP- efeito pepita, P - patamar, AL- alcance, R – residual, r<sup>2</sup> - coeficiente de determinação, DE – dependência espacial MODELO – modelo semivariográfico.

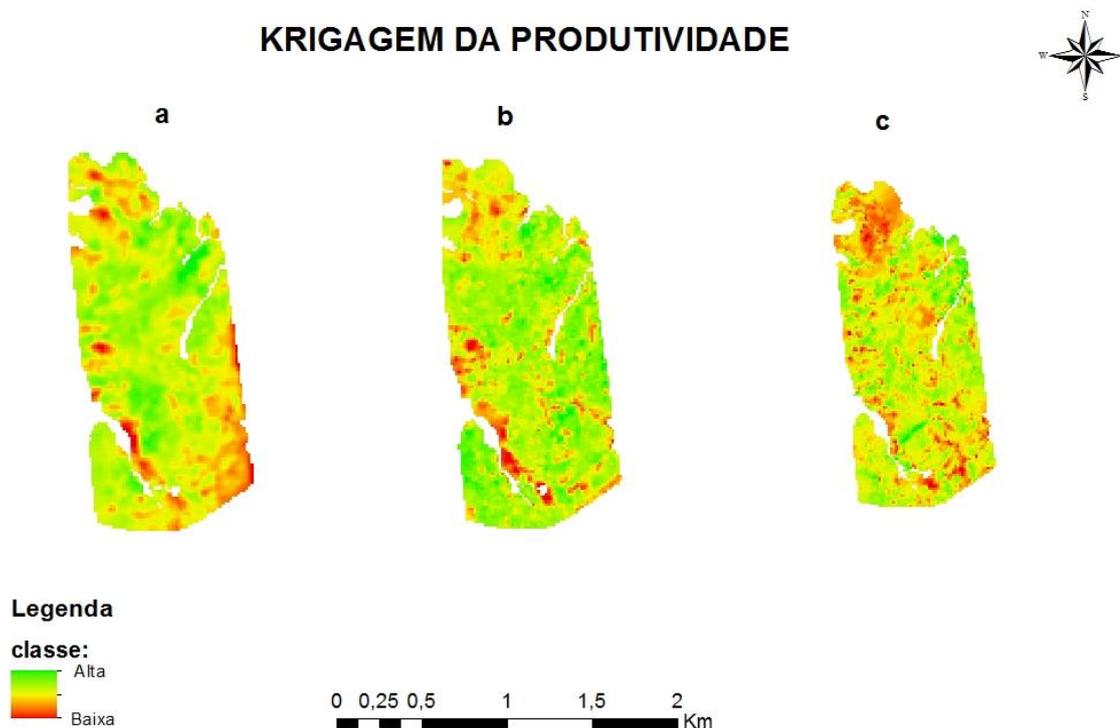
Tabela 6 - tabela de validação cruzada

ANO	CA	R <sup>2</sup>	SE	Gráfico
2007	1,073	0,493	0,014	
2008	1,079	0,590	0,011	
2009	1,047	0,596	0,010	

CL – coeficiente linear; CA – coeficiente angular;  $R^2$  - coeficiente de determinação; SE – erro padrão; Gráfico da validação cruzada;

Após analisar os conceitos básicos da geoestatística e da análise da dependência espacial por meio dos semivariogramas e também da interpolação através da metodologia de krigagem podemos chegar ao resultado para os anos de 2007 (a), 2008 (b) e 2009 (c), conforme demonstra a figura 8.

Figura 8 - Resultados da krigagem da produtividade



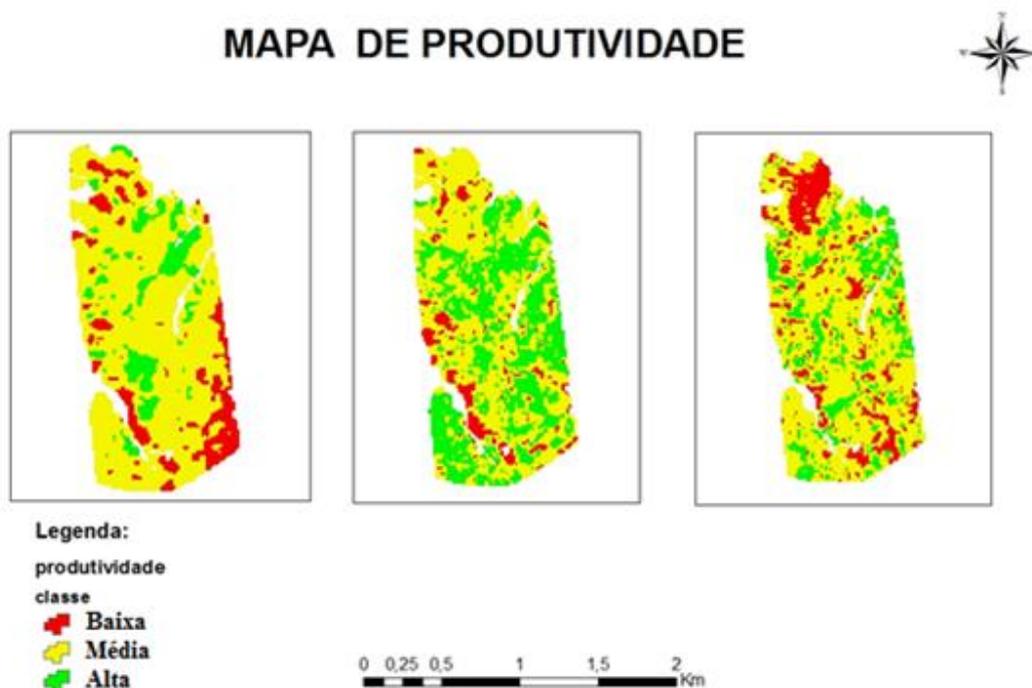
#### 4.3 CLASSIFICAÇÃO DAS PRODUTIVIDADES E DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

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 foram classificados em três classes para comparação subsequente com os dados dos índices de vegetação, sendo a primeira classe denominada em “10” cujos valores para o ano de 2007 variam de zero a 2.200kg ha<sup>-1</sup>, classe “20” entre 2.200 kg ha<sup>-1</sup> até 3.000 kg ha<sup>-1</sup> e classe “30” acima dos 3.000 kg ha<sup>-1</sup>. Para o ano de 2008 e 2009 foram utilizados

para a classe “10” valores de zero a 2.600 kg ha-1, classe “20” variando de 2.600 kg ha-1 até 3.700 kg ha-1 e para classe “30” acima de 3.700 kg ha-1 conforme é representado na figura 8:

Figura 9 - Zonas de produtividade para os anos de 2007, 2008 e 2009.



Para os índices de vegetação foram utilizados também o fatiamento por classes, representando da mesma forma que os mapas de produtividade as classes “1” para baixa, “2” para média e “3” para alta, conforme é demonstrado nos mapas da Figura 10.

Para os índices de NDVI de 2007 os valores dos fatiamentos por classes ficaram definidos para a classe 1 sendo menor que 0,62; para classe 2 os valores entre 0,62 e 0,68 e para a classe 3, valores entre 0,68 a 0,75. Para os anos de 2008 os valores dos fatiamentos por classes ficaram definidos para a classe 1 sendo menor que 0,70; para classe 2 os valores entre 0,70 e 0,78 e para a classe 3, valores entre 0,78 a 0,83 e para o ano de 2009 os valores dos fatiamentos por classes ficaram definidos para a classe 1 sendo menor que 0,73; para classe 2 os valores entre 0,73 e 0,78 e para a classe 3, valores entre 0,73 a 0,82.

Figura 10 - Mapa de classes para o NDVI para os anos de 2007 a 2009.

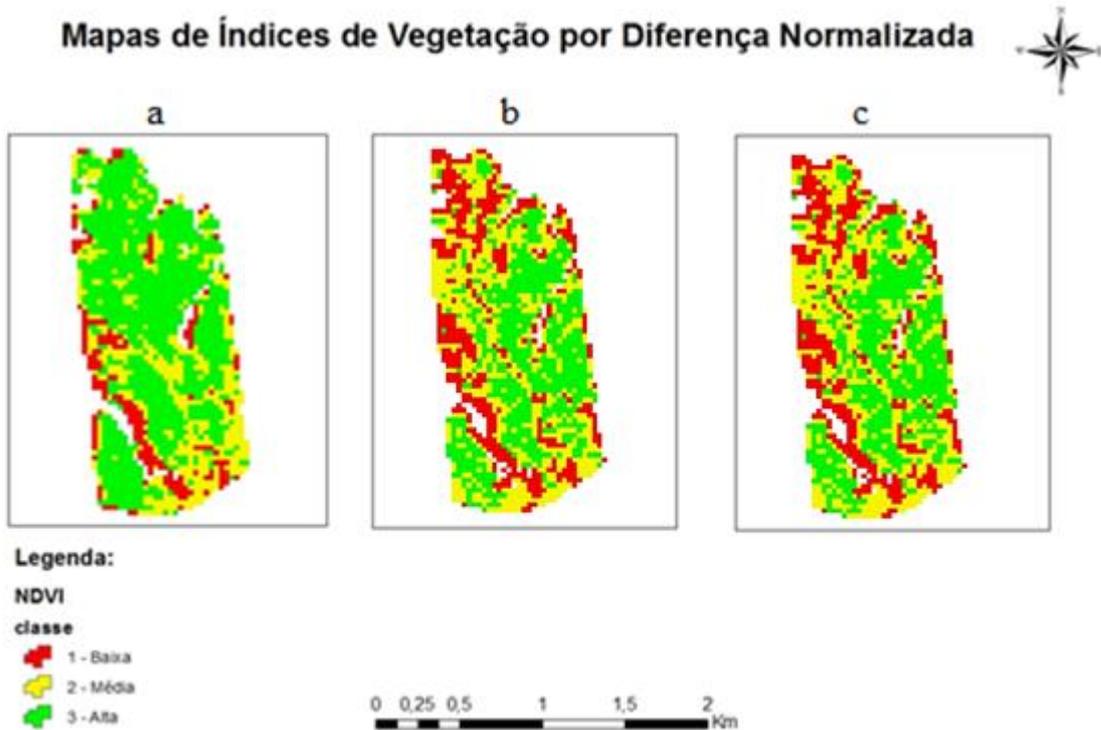
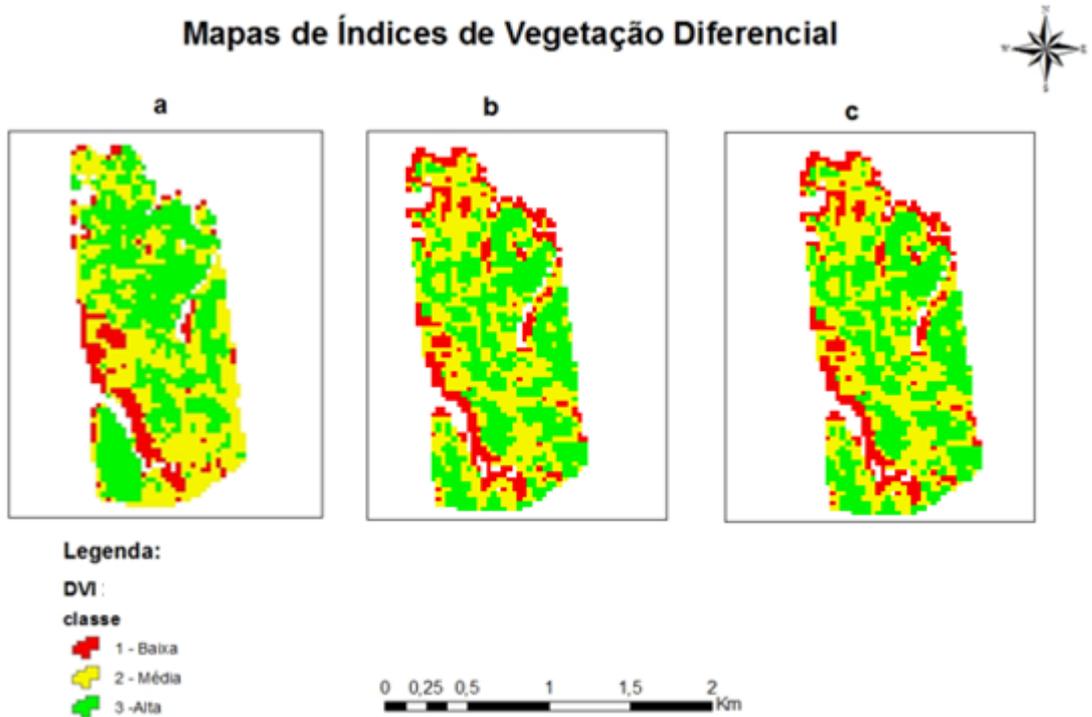
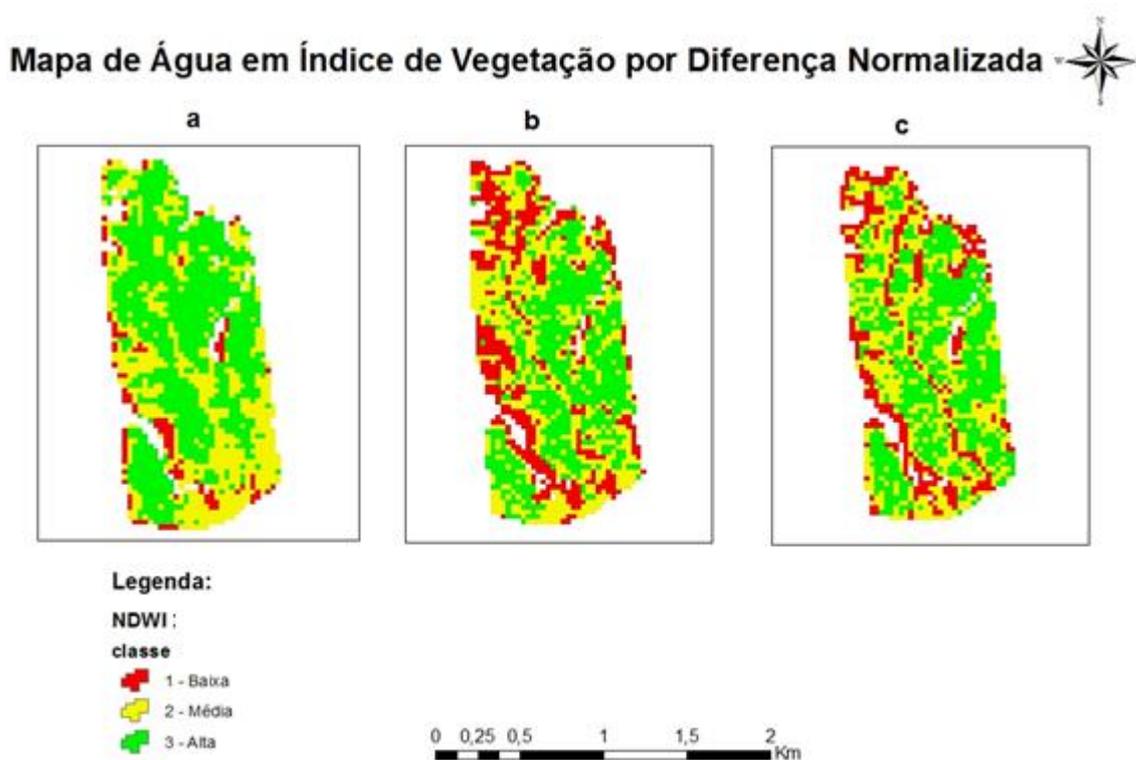


Figura 11 - Mapa de classes para o DVI para os anos de 2007 a 2009



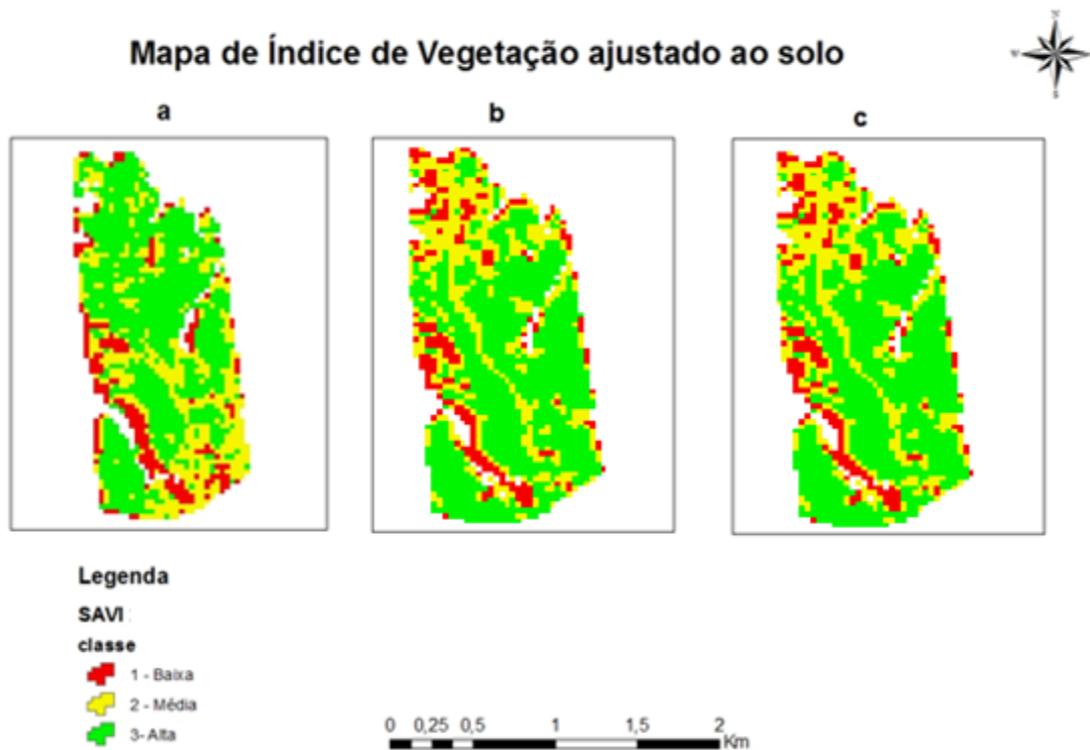
Para os índices de DVI de 2007 os valores dos fatiamentos por classes ficaram definidos para a classe 1 sendo menor que 0,32; para classe 2 os valores entre 0,32 e 0,37 e para a classe 3, valores entre 0,37 a 0,45. Para os anos de 2008 os valores dos fatiamentos por classes ficaram definidos para a classe 1 sendo menor que 0,53; para classe 2 os valores entre 0,53 e 0,62 e para a classe 3, valores entre 0,62 a 0,72 e para o ano de 2009 os valores dos fatiamentos por classes ficaram definidos para a classe 1 sendo menor que 0,53; para classe 2 os valores entre 0,53 e 0,61 e para a classe 3, valores entre 0,61 a 0,71.

Figura 12 - Mapa de classes para o NDWI para os anos de 2007 a 2009.



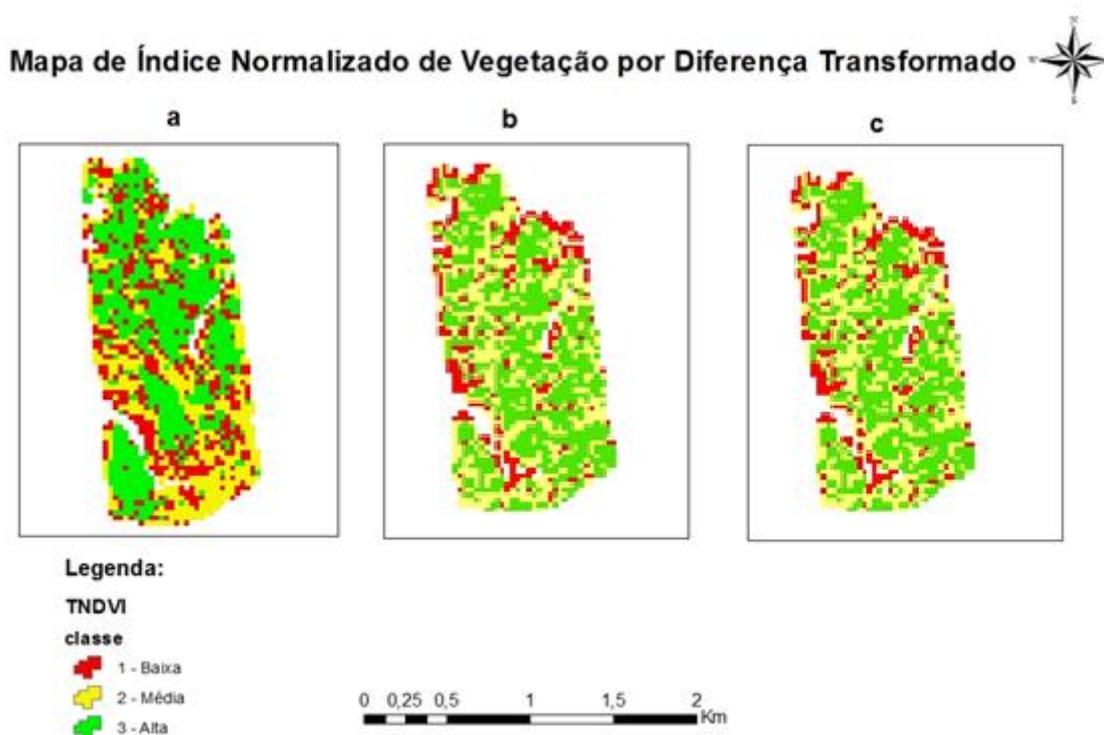
Para os índices de NDWI de 2007 os valores dos fatiamentos por classes ficaram definidos para a classe 1 sendo menor que 0,54; para classe 2 os valores entre 0,54 e 0,68 e para a classe 3, valores entre 0,68 a 0,77. Para os anos de 2008 os valores dos fatiamentos por classes ficaram definidos para a classe 1 sendo menor que 0,65; para classe 2 os valores entre 0,65 e 0,69 e para a classe 3, valores entre 0,69 a 0,72 e para o ano de 2009 os valores dos fatiamentos por classes ficaram definidos para a classe 1 sendo menor que 0,65; para classe 2 os valores entre 0,65 e 0,69 e para a classe 3, valores entre 0,69 a 0,73.

Figura 13 - Mapa de classes para o SAVI para os anos de 2007 a 2009.



Para os índices de SAVI de 2007 os valores dos fatiamentos por classes ficaram definidos para a classe 1 sendo menor que 0,93; para classe 2 os valores entre 0,93 e 1,02 e para a classe 3, valores entre 1,02 a 1,12. Para os anos de 2008 os valores dos fatiamentos por classes ficaram definidos para a classe 1 sendo menor que 1,04; para classe 2 os valores entre 1,04 e 1,14 e para a classe 3, valores entre 1,14 a 1,24 e para o ano de 2009 os valores dos fatiamentos por classes ficaram definidos para a classe 1 sendo menor que 1,10; para classe 2 os valores entre 1,10 e 1,16 e para a classe 3, valores entre 1,16 a 1,22.

Figura 14 - Mapa de classes para o TNDVI para os anos de 2007 a 2009



Para os índices de TNDVI de 2007 os valores dos fatiamentos por classes ficaram definidos para a classe 1 sendo menor que 1,03; para classe 2 os valores entre 1,03 e 1,08 e para a classe 3, valores entre 1,08 a 1,12. Para os anos de 2008 os valores dos fatiamentos por classes ficaram definidos para a classe 1 sendo menor que 0,72; para classe 2 os valores entre 0,72 e 0,79 e para a classe 3, valores entre 0,79 a 0,83 e para o ano de 2009 os valores dos fatiamentos por classes ficaram definidos para a classe 1 sendo menor que 0,73; para classe 2 os valores entre 0,73 e 0,78 e para a classe 3, valores entre 0,78 a 0,82.

#### 4.4 ALGEBRA DE MAPAS ENTRE A PRODUTIVIDADE E OS INDICES DE VEGETAÇÃO

Através do cruzamento de mapas de produtividade pelos mapas de índices de vegetação pode-se obter as tabelas com os resultados superestimação, subestimação e igualdade do índice em cada safra agrícola analisada em relação aos índices de produtividade

As tabelas de 7 a 11 representam em porcentagem as classes de igualdade, superestimação e subestimação dos índices de vegetação em relação as zonas de manejo dos mapas de produtividade, assim como as figuras de 15 a 20 representam a concatenação das

classes 10, 20 e 30 do mapa de produtividade com as classes 1, 2 e 3 dos índices de vegetação apresentando suas respectivas áreas:

Tabela 7 - Estimativa de zona de manejo pelo TNDVI em cada ano de análise e sua média aritmética.

TNDVI	2007(%)	2008(%)	2009 (%)	MEDIA (%)
IGUAL	46,35	53,08	39,77	46,40
SUPERESTIMOU	50,11	18,56	45,08	37,91
SUBESTIMOU	3,54	28,36	15,15	15,68

A tabela do TNDVI para os três anos de amostragem demonstra que o índice teve uma pequena interferência nos níveis digitais, obtendo uma baixa subestimação no primeiro ano, isso se deve principalmente por as áreas dos pontos obtidos estarem afastado do perímetro, fazendo com que os dados a serem analisados sejam principalmente da lavoura.

Figura 15 - Mapas de concatenação entre produtividade e TNDVI

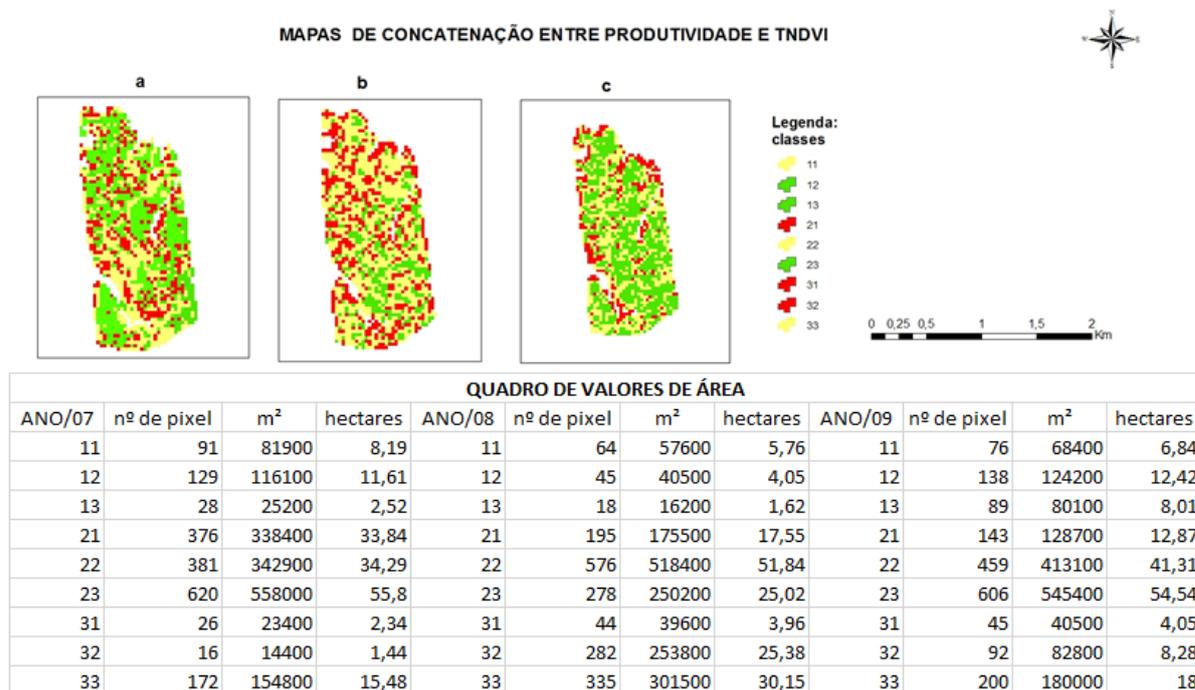


Tabela 8 - Média aritmética dos 3 anos estimados para o índice NDVI

NDVI	2007(%)	2008(%)	2009 (%)	MEDIA (%)
IGUAL	36,31	54,98	39,77	43,68
SUPERESTIMOU	56,05	26,18	45,08	42,43
SUBESTIMOU	7,91	18,84	15,15	13,96

A tabela do NDVI para os três anos de amostragem demonstra também uma baixa subestimação, o que nos indica que houve uma pequena interferência externa da lavoura, sendo esta porcentagem proveniente de áreas com redes de drenagem. Podemos notar também que o índice em sua média teve uma igualdade ou superestimativa da produtividade, isso nos reflete a um índice de boa confiabilidade para o uso. A superestimativa se deve provavelmente a áreas com bastante reflectância na imagem o que corresponde a um grande volume de massa verde, que pode ocasionar acamamento da lavoura de soja e assim diminuir os valores de produtividade para estes locais.

Figura 16 - Mapas de concatenação entre produtividade e NDVI

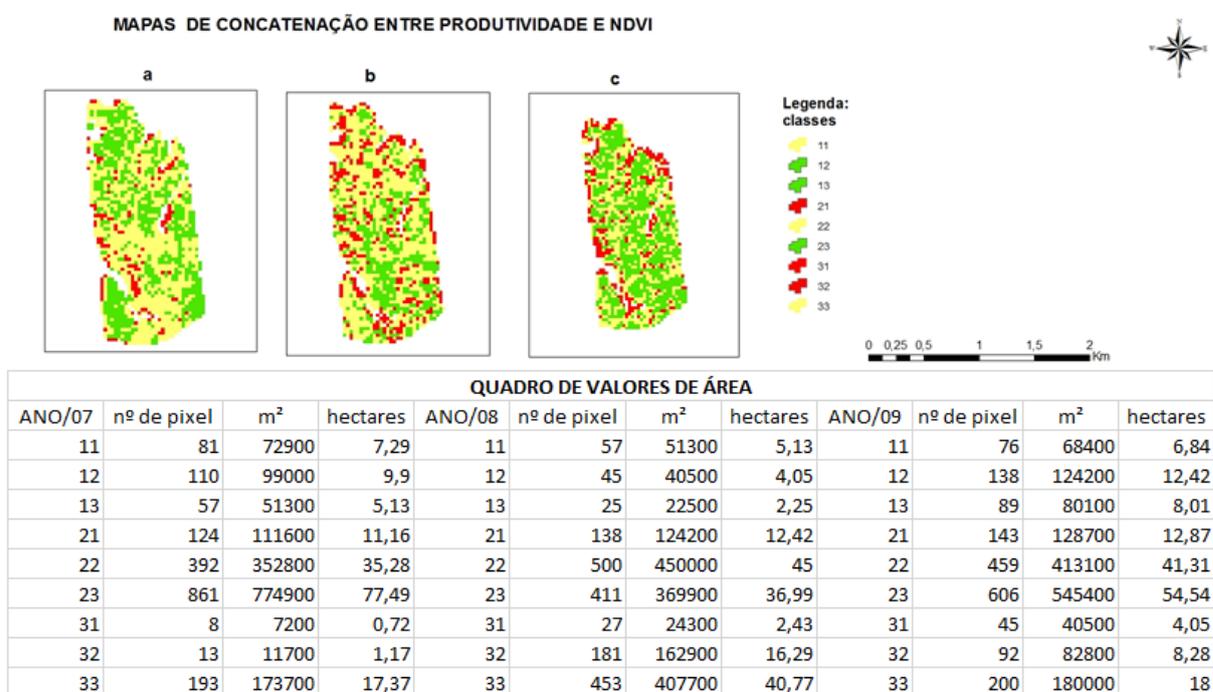


Tabela 9 - média aritmética dos 3 anos estimados para o índice DVI

DVI	2007(%)	2008(%)	2009 (%)	MEDIA (%)
IGUAL	41,38	48,78	42,64	44,26
SUPERESTIMOU	48,85	18,84	39,77	35,82
SUBESTIMOU	10,03	32,39	17,59	20,00

A tabela do DVI para os três anos de amostragem mostra distribuição de classe muito irregular, mostrando que os níveis digitais da imagem sofreram algum tipo de intempérie em relação ao uso do solo ou em relação ao tamanho da resolução espacial.

Figura 17 - Mapas de concatenação entre produtividade e DVI

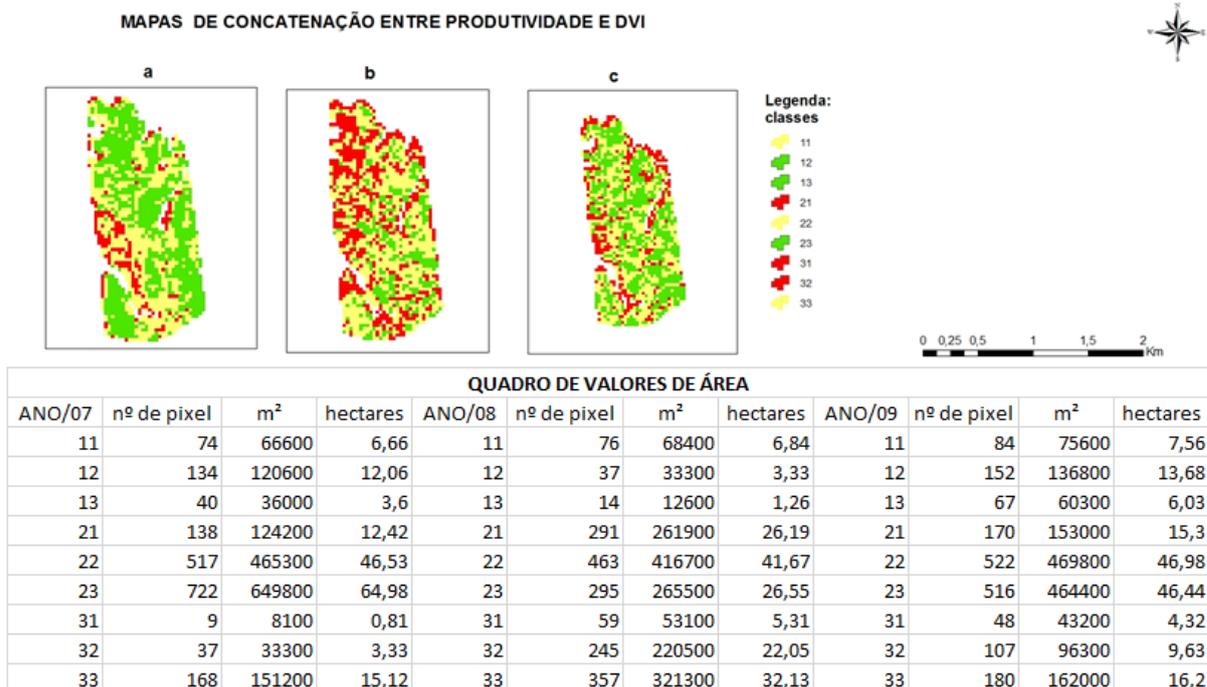


Tabela 10 - Média aritmética dos 3 anos estimados para o índice NDWI

NDWI	2007(%)	2008(%)	2009 (%)	MEDIA (%)
IGUAL	40,84	45,89	39,66	42,13
SUPERESTIMOU	53,93	20,03	39,02	37,66
SUBESTIMOU	5,51	34,08	21,32	20,30

Para a tabela do NDWI para os três anos de amostragem nota-se uma elevada subestimação dos índices em relação aos índices das zonas de manejo dos mapas de produtividade, um ponto a ser considerado, devido ao NDWI estar diretamente relacionado com as redes de drenagem da área.

Figura 18 - Mapas de concatenação entre produtividade e NDWI

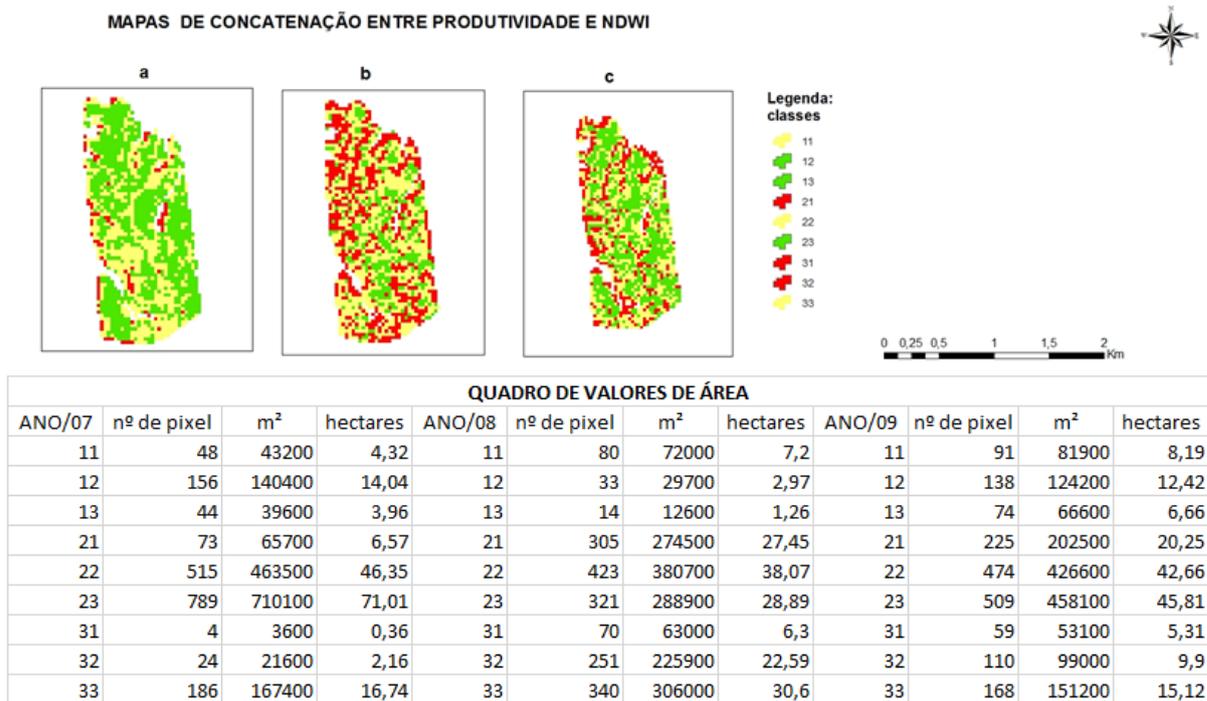
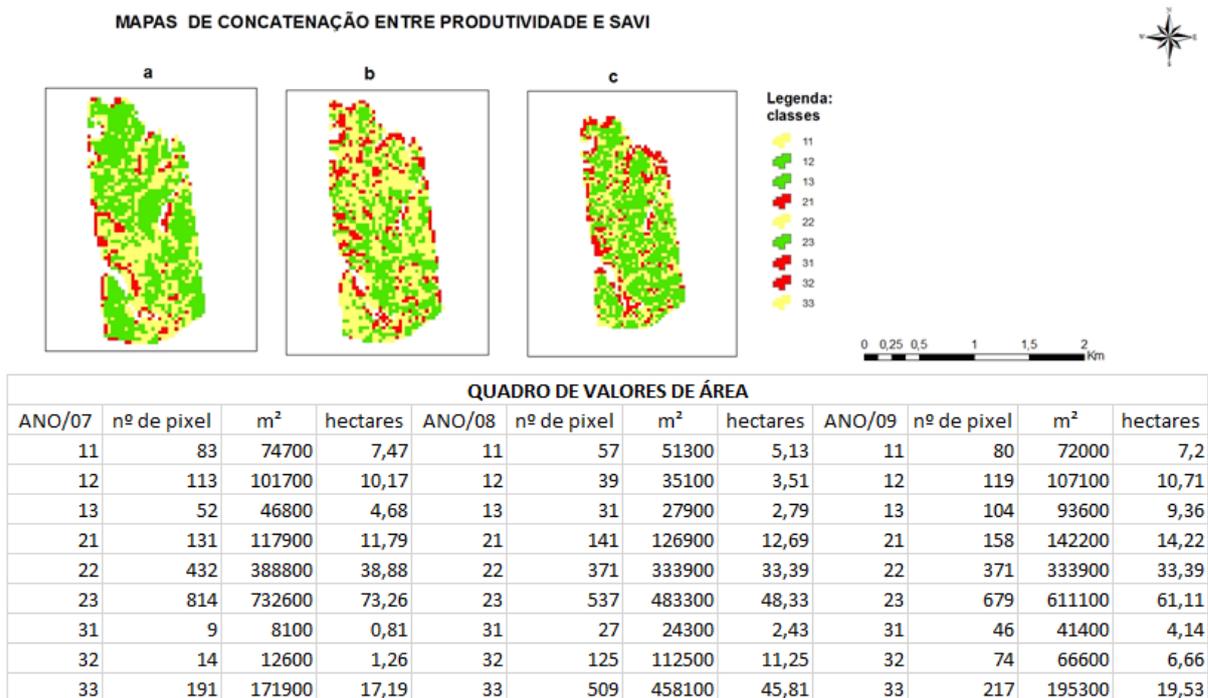


Tabela 11 - Média aritmética dos 3 anos estimados para o índice SAVI

SAVI	2007(%)	2008(%)	2009 (%)	MEDIA (%)
IGUAL	38,5	51,01	36,15	41,88
SUPERESTIMOU	53,38	33,04	48,81	45,07
SUBESTIMOU	8,4	15,95	15,04	13,13

A tabela do SAVI para os três anos de amostragem demonstra uma elevada superestimação da produtividade, isto pode estar relacionado diretamente com o vigor da planta e a data escolhida para a análise através da imagem digital. Apresenta também uma baixa subestimação, demonstrando que os níveis digitais tiveram pouca influência externa da lavoura, ou de redes de drenagem, assim como, de intempéries no solo.

Figura 19 - Mapas de concatenação entre produtividade e SAVI



Com os mapas de produtividade obtemos as zonas de manejo para cada cultura em seu devido ano, os índices de vegetação buscam alcançar esses resultados encontrados com os mapas de produtividade. Quando um índice superestima a produção, ou seja, as zonas de produtividade são menores que as do índice de vegetação demonstra ter, isso pode significar que as áreas em discordância possuem algum fator a campo que esteja limitando a produtividade, também pode ser que a imagem obtida não represente o vigor máximo da planta.

Outro caso que pode ocorrer é quando o índice de vegetação subestima a produção, ou seja, é quando as zonas de produtividade são maiores que as do índice de vegetação, isso ocorre por diversos fatores, podendo ser principalmente porque os níveis digitais sofrem influência direta com a resolução da imagem obtida, podendo estes valores estarem ligados a bordaduras da área de estudo, redes de drenagem e influência de outro casos do solo que não a da lavoura, tendo como resultado uma subestimação das zonas.

#### 4.5 MATRIZ DE CONFUSÃO E ÍNDICE DE CONFIANÇA GLOBAL ENCONTRADA PARA OS IVs.

Através da matriz de confusão, obtida pela concatenação das imagens, podemos representar a qualidade da classificação por meio dos dados das zonas de manejo obtidos pelos mapas de produtividade com os dados da classificação dos índices. Sendo assim, obteve

a tabela a seguir com os dados de confiança global encontrada para cada índice em cada ano do estudo.

Tabela 12- Concordância entre as zonas de manejo obtidas pelos mapas de rendimento e os índices de vegetação, em %.

ÍNDICE /ANO	TNDVI	NDVI	DVI	NDWI	SAVI
<b>2007</b>	46,35	54,59	41,27	40,73	38,39
<b>2008</b>	53,08	57,40	48,78	45,89	51,01
<b>2009</b>	39,77	41,60	42,64	39,66	36,15

Com a matriz de confusão pode-se observar conforme o quadro 1, 2 e 3 que o índice de vegetação TNDVI para o ano de 2007 dá uma maior confiança ao produtor, tendo uma maior previsibilidade nas áreas em que a produtividade e o índice deram alto representando 76,92 % de confiança na plantação de Trigo. Para os anos de 2008 e 2009 cuja plantação corresponde a soja o índice apresentou melhor confiabilidade quando a plantação e o índice apresentam uma igualdade na produtividade.

Quadro 1 - Matriz de confusão e TNDVI 2007

Matriz de confusão		Produtividade			soma	Erro Omissão	Risco do Produtor	Confiança do Produtor
		Baixo	Médio	Alto				
Índice de Vegetação	Baixa	40	10	2	52	12	23,08%	76,92%
	Média	167	204	53	424	220	51,89%	48,11%
	Alta	118	634	606	1358	752	55,38%	44,62%
Soma		325	848	661	1834			
Erro de Comissão		285	644	55				
Risco do Usuário		87,69%	75,94%	8,32%				
Confiança do Usuário		12,31%	24,06%	91,68%				

Quadro 2 - Matriz de confusão TNDVI 2008.

Matriz de confusão		Produtividade			Soma	Erro Omissão	Risco do Produtor	Confiança do Produtor
		Baixo	Médio	Alto				
Índice de Vegetação	Baixa	64	195	44	303	239	78,88%	21,12%
	Média	45	576	282	903	327	36,21%	63,79%
	Alta	18	278	335	631	296	46,91%	53,09%
Soma		127	1049	661	1837			
Erro de Comissão		63	473	326				
Risco do Usuário		49,61%	45,09%	49,32%				
Confiança do Usuário		50,39%	54,91%	50,68%				

Quadro 3 - Matriz de confusão TNDVI 2009

Matriz de confusão		Produtividade			Soma	Erro Omissão	Risco do Produtor	Confiança do Produtor
		Baixo	Médio	Alto				
Índice de Vegetação	Baixa	76	143	45	264	188	71,21%	28,79%
	Média	138	459	92	689	230	33,38%	66,62%
	Alta	89	606	200	895	695	77,65%	22,35%
Soma		303	1208	337	1848			
Erro de Comissão		227	749	137				
Risco do Usuário		74,92%	62,00%	40,65%				
Confiança do Usuário		25,08%	38,00%	59,35%				

Para a matriz de confusão do NDVI do ano de 2007 e dos anos 2008 e 2009 conforme o quadro 4 e quadro 5 e 6 respectivamente, o índice apresenta uma maior confiabilidade ao produtor quando a plantação e o índice apresentam uma igualdade na produtividade.

Quadro 4 - Matriz de Confusão NDVI 2007

Matriz de confusão		Produtividade			Soma	Erro Omissão	Risco do Produtor	Confiança do Produtor
		Baixo	Médio	Alto				
Índice de Vegetação	Baixa	81	124	8	213	132	61,97%	38,03%
	Média	110	392	13	515	123	23,88%	76,12%
	Alta	57	861	193	1111	918	82,63%	17,37%
Soma		248	1377	214	1839			
Erro de Comissão		167	985	21				
Risco do Usuário		67,34%	71,53%	9,81%				
Confiança do Usuário		32,66%	28,47%	90,19%				

Quadro 5 - Matriz de confusão NDVI 2008.

Matriz de confusão		Produtividade			Soma	Erro Omissão	Risco do Produtor	Confiança do Produtor
		Baixo	Médio	Alto				
Índice de Vegetação	Baixa	57	138	27	222	165	74,32%	25,68%
	Média	45	500	181	726	226	31,13%	68,87%
	Alta	25	411	453	889	436	49,04%	50,96%
Soma		127	1049	661	1837			
Erro de Comissão		70	549	208				
Risco do Usuário		55,12%	52,34%	31,47%				
Confiança do Usuário		44,88%	47,66%	68,53%				

Quadro 6 - Matriz de confusão NDVI 2009.

Matriz de confusão		Produtividade			Soma	Erro Omissão	Risco do Produtor	Confiança do Produtor
		Baixo	Médio	Alto				
Índice de Vegetação	Baixa	76	143	45	264	188	71,21%	28,79%
	Média	138	459	92	689	230	33,38%	66,62%
	Alta	89	606	200	895	695	77,65%	22,35%
Soma		303	1208	337	1848			
Erro de Comissão		227	749	137				
Risco do Usuário		74,92%	62,00%	40,65%				
Confiança do Usuário		25,08%	38,00%	59,35%				

A matriz de confusão para o DVI para o ano de 2007 como demonstra o quadro 7, 8 e 9 do apêndice C representando respectivamente os anos 2008 e 2009 demonstram uma maior confiança do produtor para as medias da produtividade.

Quadro 7 - Matriz de confusão DVI 2007.

Matriz de confusão		Produtividade			Soma	Erro Omissão	Risco do Produtor	Confiança do Produtor
		Baixo	Médio	Alto				
Índice de Vegetação	Baixa	74	138	9	221	147	66,52%	33,48%
	Média	134	517	37	688	171	24,85%	75,15%
	Alta	40	722	168	930	762	81,94%	18,06%
Soma		248	1377	214	1839			
Erro de Comissão		174	860	46				
Risco do Usuário		70,16%	62,45%	21,50%				
Confiança do Usuário		29,84%	37,55%	78,50%				

Quadro 8 - Matriz de confusão DVI 2008.

Matriz de confusão		Produtividade			Soma	Erro Omissão	Risco do Produtor	Confiança do Produtor
		Baixo	Médio	Alto				
Índice de Vegetação	Baixa	76	291	59	426	350	82,16%	17,84%
	Média	37	463	245	745	282	37,85%	62,15%
	Alta	14	295	357	666	309	46,40%	53,60%
Soma		127	1049	661	1837			
Erro de Comissão		51	586	304				
Risco do Usuário		40,16%	55,86%	45,99%				
Confiança do Usuário		59,84%	44,14%	54,01%				

Quadro 9 - Matriz de confusão DVI 2009.

Matriz de confusão		Produtividade			Soma	Erro Omissão	Risco do Produtor	Confiança do Produtor
		Baixo	Médio	Alto				
Índice de Vegetação	Baixa	84	170	48	302	218	72,19%	27,81%
	Média	152	522	107	781	259	33,16%	66,84%
	Alta	67	516	182	765	583	76,21%	23,79%
Soma		303	1208	337	1848			
Erro de Comissão		219	686	155				
Risco do Usuário		72,28%	56,79%	45,99%				
Confiança do Usuário		27,72%	43,21%	54,01%				

Para o índice NDWI a matriz de confusão para o ano de 2007 quadro 10 mostra uma maior confiabilidade para as medias da produtividade, tendo também um maior grau de acerto entre o índice e a produtividade. Para o ano de 2008 o quadro 11 mostra uma confiabilidade do produtor maior para a média e alta da produtividade com maior grau de acerto para a media, no ano de 2009 representado pelo quadro 12 mostra um grau maior de confiabilidade e acerto para a média e também mostra uma relativa proximidade de confiabilidade para os índices quando relacionado com a baixa e a alta produtividade.

Quadro 10 - Matriz de Confusão NDWI 2007.

Matriz de confusão		Produtividade			Soma	Erro Omissão	Risco do Produtor	Confiança do Produtor
		Baixo	Médio	Alto				
Índice de Vegetação	Baixa	48	73	4	125	77	61,60%	38,40%
	Média	156	515	24	695	180	25,90%	74,10%
	Alta	44	789	186	1019	833	81,75%	18,25%
Soma		248	1377	214	1839			
Erro de Comissão		200	862	28				
Risco do Usuário		80,65%	62,60%	13,08%				
Confiança do Usuário		19,35%	37,40%	86,92%				

Quadro 11 - Matriz de confusão NDWI 2008.

Matriz de confusão		Produtividade			Soma	Erro Omissão	Risco do Produtor	Confiança do Produtor
		Baixo	Médio	Alto				
Índice de Vegetação	Baixa	80	305	70	455	375	82,42%	17,58%
	Média	33	423	251	707	284	40,17%	59,83%
	Alta	14	321	340	675	335	49,63%	50,37%
Soma		127	1049	661	1837			
Erro de Comissão		47	626	321				
Risco do Usuário		37,01%	59,68%	48,56%				
Confiança do Usuário		62,99%	40,32%	51,44%				

Quadro 12 - Matriz de confusão NDWI 2009.

Matriz de confusão		Produtividade			Soma	Erro Omissão	Risco do Produtor	Confiança do Produtor
		Baixo	Médio	Alto				
Índice de Vegetação	Baixa	91	225	59	375	284	75,73%	24,27%
	Média	138	474	110	722	248	34,35%	65,65%
	Alta	74	509	168	751	583	77,63%	22,37%
Soma		303	1208	337	1848			
Erro de Comissão		212	734	169				
Risco do Usuário		69,97%	60,76%	50,15%				
Confiança do Usuário		30,03%	39,24%	49,85%				

O índice SAVI para o ano de 2007 e 2009 representado pelo quadro 13 e 15 respectivamente mostra um maior grau de confiabilidade do produtor nas médias da produtividade, também apresenta para esses anos uma considerável superestimação quando a produtividade é média. Para o ano de 2008 representado pelo quadro 14 apresenta uma maior confiabilidade do produtor quando a produtividade é média e uma maior confiança do índice quando a produtividade é alta, obtendo 77% de confiabilidade do usuário, assim como também representa o maior grau de acerto entre o índice e a produtividade.

Quadro 13 - Matriz de confusão SAVI 2007.

Matriz de confusão		Produtividade			Soma	Erro Omissão	Risco do Produtor	Confiança do Produtor
		Baixo	Médio	Alto				
Índice de Vegetação	Baixa	83	131	9	223	140	62,78%	37,22%
	Média	113	432	14	559	127	22,72%	77,28%
	Alta	52	814	191	1057	866	81,93%	18,07%
Soma		248	1377	214	1839			
Erro de Comissão		165	945	23				
Risco do Usuário		66,53%	68,63%	10,75%				
Confiança do Usuário		33,47%	31,37%	89,25%				

Quadro 14 - Matriz de confusão SAVI 2008.

Matriz de confusão		Produtividade			Soma	Erro Omissão	Risco do Produtor	Confiança do Produtor
		Baixo	Médio	Alto				
Índice de Vegetação	Baixa	57	141	27	225	168	74,67%	25,33%
	Média	39	371	125	535	164	30,65%	69,35%
	Alta	31	537	509	1077	568	52,74%	47,26%
Soma		127	1049	661	1837			
Erro de Comissão		70	678	152				
Risco do Usuário		55,12%	64,63%	23,00%				
Confiança do Usuário		44,88%	35,37%	77,00%				

Quadro 15 - Matriz de confusão SAVI 2009.

Matriz de confusão		Produtividade			Soma	Erro Omissão	Risco do Produtor	Confiança do Produtor
		Baixo	Médio	Alto				
Índice de Vegetação	Baixa	80	158	46	284	204	71,83%	28,17%
	Média	119	371	74	564	193	34,22%	65,78%
	Alta	104	679	217	1000	783	78,30%	21,70%
Soma		303	1208	337	1848			
Erro de Comissão		223	837	120				
Risco do Usuário		73,60%	69,29%	35,61%				
Confiança do Usuário		26,40%	30,71%	64,39%				

## 5. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que o método de determinação de zonas de manejos por mapas de produtividade é válido permitindo a correlação dos índices de vegetação utilizados. Os métodos de determinação de zonas de manejo pelos índices de vegetação NDVI e TNDVI apresentaram uma classificação mais igualitária em relação a produtividade, tornando-os válidos.

Através da matriz de confusão pode-se obter a confiança global dos índices, em que, por ordem decrescente de desempenho pode-se afirmar que no trabalho realizado o melhor índice de vegetação foi o NDVI, seguido respectivamente por TNDVI, NDWI, DVI e SAVI.

O método de determinação de zonas de manejo pelos índices DVI e SAVI apresentaram uma relativa igualdade entre eles e a produtividade, porém com uma significativa superestimação do índice SAVI em relação a produtividade;

Tornou-se válido também o cruzamento dos dados dos índices de vegetação com os da produtividade, obtendo até 59,39% da área em comum, tornando o método tecnicamente viável, tendo em vista a agilidade de execução, a resposta do método e a importância da identificação das zonas.

Sendo assim a criação de mapas de zonas de manejo é mais uma ferramenta disponível da agricultura de precisão, permitindo ao produtor respostas rápida da variabilidade espacial de sua lavoura, com baixo custo e maior precisão no manejo do solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, 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](http://www.researchgate.net/publication/222736598_Potentials_and_limits_of_vegetation_indices_for_LAI_and_APAR_assessment._Remote_Sens_Env)
- BARRETT, E. C.; CURTIS, L. Introduction to environmental remote sensing. Londres:Chapman & Hall. 1992.
- BERNARDES, T. **Caracterização do ambiente agrícola do Complexo Serra Negra por meio de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2006, 119p. Disponível em:<<http://www.epamig.br/geosolos/MaterialSite/Teses/Tiago/Tiagodissertacao.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2016.
- BERRY, J. K. Cartographic modeling: the analitical capabilities of gis. In: GOODCHILD, M. et alli. Environmental modelling with GIS. Oxford: Oxford University Press, 1993. 358p. Cap. 5, 58-74p.
- BLACKMORE, B. S.; LARSCHIED, 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/](http://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.
- CAMBARDELLA, C. A.; KARLEN, D. L. **Spatial analysis of soil fertility parameters.** Precision Agriculture, Dordrecht, v.1, n.1, p. 5-14, 1999.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVACK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO R. F.; KNOPKA, A.E. **Field-scale variability of soil proprieties in central Iowa soils.** Soil Science Society of American Journal, Madison, v.58, .1240-1248, 1994
- CAPELLI, N.L. **Agricultura de precisão - Novas tecnologias para o processo produtivo.**LIE/DMAQAG/ FEAGRI/UNICAMP, 1999. Disponível em: <http://www.bases.cnptia.embrapa.br/cria/gip/gipap/capelli.doc>
- 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>

CEPSRM/UFRGS. **Unidades geomorfológicas do Rio Grande do Sul. Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul.** 2001. Disponível em: <[http://www1.seplag.rs.gov.br/atlas/conteudo.asp?cod\\_menu\\_filho=791&cod\\_menu=790&tipo\\_menu=APRESENTACAO&cod\\_conteudo=1330](http://www1.seplag.rs.gov.br/atlas/conteudo.asp?cod_menu_filho=791&cod_menu=790&tipo_menu=APRESENTACAO&cod_conteudo=1330)>. Acesso em 04 de janeiro de 2017.

CHUVIECO, E. **Teledetección Ambiental: La observación de la tierra desde el espacio.** 3ª Ed. Barcelona: Editorial Ariel, 595p. 2008.

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.

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 Japarutuba-Mirim em Sergipe.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, 2011, Curitiba, Brasil. Anais... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 1357-1365.

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.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Atlas climático da região sul do Brasil.** Embrapa Clima Temperado/Embrapa Florestas, Pelotas/Colombo, Brasil, 2011.

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

Hardisky, V. Klemas, R.M. **Smart The influences of soil salinity, growth form, and leaf moisture on the spectral reflectance of Spartina alterniflora canopies Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,** 49 (1983), pp. 77–83

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>

HUIJBREGTS, C.J. **Regionalized variables and quantitative analysis of spatial data.** In: Davis, J.C. & McCullagh, M.J. (ed) Display and anaysis of spatial data. New York, John Wiley. p.38-53. 1975.

Jackson, R.D., Huete, A. R. **Interpreting vegetation indices.** Journal of Preventive Veterinary Medicine, v.11, p.185-200, 1991.

Lillesand, T.M. and R.W. Kiefer. 1994. **Remote Sensing and Photo Interpretation,** 3rd. ed. John Wiley & Sons: New York. 750 p.

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

McBRATNEY, A. B. and WEBSTER, R. (1986). **Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates,** J. Soil Sci. 37: 617-39

MANTOVANI, E.C.; QUEIROZ, D.M.; DIAS, G.P. **Máquinas e operações utilizadas na agricultura de precisão.** In: SILVA, . M. da.(Coord.). Mecanização e agricultura de precisão. Poços de Caldas : UFLA/SBEA, 1998. p.109-15

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](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662004000100019&script=sci_arttext)

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](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.

MOLIN, J. P. **Geração e Interpretação de Mapas de Produtividade para Agricultura de Precisão.** In: Borém, A.; Giúdice, M. P.; Queiroz, D. M.; Mantovani, E. C.; Ferreira, L. R.; Valle, F. X. R.; Goide, R. L. *Agricultura de Precisão.* Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. P 237-258.

MONGUILHOTT, M. **Alterações na superfície agrícola a partir da técnica RCEN, território da cidadania região central – RS.** 2016. 220p. Tese (Programa de Pós-Graduação em Geografia) – Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, 2016.

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. 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>

PRINA, B. Z.; TRENTIN, R. GMC: **Geração de Matriz de Confusão a partir de uma classificação digital de imagem do ArcGIS®**. 2015. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0031.pdf>>. Acesso em: 22 dez. 2016.

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

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, Washington, DC, v. 1, p. 309-317, 1973.

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

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](http://w3.ufsm.br/projetoaquarius2/index.php?option=com_weblinks&view=category&id=38%3Avideo-aulas-dcg-ap-2010&Itemid=36). Acessado em 15/12/2016.

STRECK, E.V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008, 222p.

TOMLIN, D. **Geographic information systems and Cartographic Modeling**. Prentice Hall, New York, 1990.

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

VEIVERBERG, K. T. **DELINEAMENTO DE ZONAS POTENCIAIS PARA MANEJO DIFERENCIADO EM NÍVEL DE TALHÃO**. 2016. Disponível em: <[http://w3.ufsm.br/ppgap/images/dissertacoes/Dissertacao\\_Kelly\\_Taline\\_Veiverberg.pdf](http://w3.ufsm.br/ppgap/images/dissertacoes/Dissertacao_Kelly_Taline_Veiverberg.pdf)>. Acesso em: 04 jan. 2017.

WANG, Z. X.; LIU, C.; HUETE, A. From AVHRRNDVI to MODIS-EVI: **Advances in vegetation index research**. Acta Ecologica Sinica, v.23, n.5, p.979-988, 2003.

ZIMBACK, C.R.L. **Análise espacial de atributos químicos de solo para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114f. Tese (Livre Docência em Levantamento do Solo e Fotopedologia) Universidade Estadual Paulista, Botucatu.