

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RUARAIIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOMÁTICA**

**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA
PRODUTIVIDADE DE UMA LAVOURA DE SOJA
(*Glycine max* (L.)Merrill). ESTUDO DE CASO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Maria Ubaldina Ferreira Antunes

**Santa Maria, RS, Brasil
2006**

**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA
PRODUTIVIDADE DE UMA LAVOURA DE SOJA
(*Glycine max* (L.)Merrill). ESTUDO DE CASO**

por

Maria Ubaldina Ferreira Antunes

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geomática, Área de Concentração em Tecnologia da Geoinformação, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Geomática

Orientador: Prof. Dr. Enio Giotto

**Santa Maria, RS, Brasil
2006**

Antunes, Maria Ubaldina Ferreira, 1962-

A636a

Análise da evolução espaço-temporal da produtividade de uma lavoura de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Estudo de caso / por Maria Ubaldina Ferreira Antunes ; orientador Enio Giotto - Santa Maria, 2006.

71 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Geomática, RS, 2006.

1. Geomática 2. Agricultura de precisão 3. Mapa de produtividade 4 Geoposicionamento I. Giotto, Enio, orient. III Título

CDU: 631.4:004.4

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes - CRB 10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Geomática**

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

**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL
DA PRODUTIVIDADE DE UMA LAVOURA DE SOJA (*Glycine max* (L.)Merrill).
ESTUDO DE CASO**

elaborada por

Maria Ubaldina Ferreira Antunes

como requisito parcial para obtenção do grau de

Mestre em Geomática

COMISSÃO EXAMINADORA

Enio Giotto, Dr.
(Presidente - Orientador)

Telmo Jorge Carneiro Amado, Dr. (UFSM)

José Américo de Mello Filho, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 06 de setembro de 2006.

Àqueles que são diretamente envolvidos, não apenas com o que faço, mas em toda minha vida:

Meus filhos, Lucas e Larissa,
amor-maior que existe em minha vida para me dizer que eu tenho valor, que pela generosidade do caráter, souberam respeitar minhas escolhas e apoiar meus sonhos, mesmo existindo um outro lado a considerar,

Meu pai, Gaspar Antunes, a quem eu sempre dedicarei todas as conquistas, mesmo não estando aqui para ver e, **minha mãe, Vanda Antunes,** por ensinar que a herança permanente é ser fiel aos meus princípios e valores e, por estar aqui pra ver.

Meus irmãos Alda e Aristeu Antunes, porque quando deveriam ser irmãos, foram amigos, quando deveriam ser amigos, foram os melhores e, em uma atitude de amor, foram solidários nos meus momentos difíceis e tornaram possível à concretização deste objetivo.

Minha grande amiga, Dete Schmidt, por sempre saber dizer o que eu precisava ouvir, como também o que eu queria ouvir; por me apoiar, ajudar, fazer parte da minha vida e continuar a gostar de mim, apesar de me conhecer tão bem.

(A vocês eu dedico este trabalho)

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, por viabilizar oportunidades ao aperfeiçoamento profissional e possibilitar o acesso às informações e ao conhecimento.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geomática e ao Departamento de Engenharia Rural, através do Laboratório de Geomática, pelo suporte pessoal e técnico, disponibilizando condições plenas à elaboração desta pesquisa.

Ao prof. Dr. Enio Giotto, por me acolher num momento importante, aceitando me orientar e depositando a confiança necessária para eu acreditar que era possível reestruturar minha vida profissional. Por fazer parte de minha história acadêmica desde o ingresso no curso de graduação, por entender a importância que a finalização deste trabalho tem em minha vida e pela amizade construída neste tempo de convivência.

Aos profs. Dr. José Américo de Mello Filho e Dr Telmo Jorge Carneiro Amado, por aceitarem gentilmente fazer parte da comissão examinadora deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Rudney Soares Pereira, pela ajuda constante, por acreditar, compreender, saber ouvir, estar disponível, se importar, incentivar e pela amizade.

Ao Prof. Dr Adroaldo Dias Robaina, pela atenção, amizade e disponibilidade.

Ao Prof. Msc. Luiz Fernando Sangoi, pelo carinho, parceria, por sempre ajudar e estar presente em todas as fases deste processo.

Aos colegas do Laboratório de Geomática, Ana Caroline Benedetti, Alexandre Tencaten, Catize Brandelero, Claire Cardoso, Christine Grabaski, Cristhiano Vasconcellos, Daniel Boemo, Daniely Vaz, Diana Giotto, Douglas Griebeler, Elvis Rabuske, Érica Dockorn, Gilfredo Castagna, Luiz Patric Kayser, Marcos Storck, Marcelo Calgaro, Patrícia Dias, Renata Ferrari, Salete Andreis e Tatiane Bernardon, por partilhar conhecimentos, dividir aflições e méritos e por toda esta alegre convivência. Agradeço a todos vocês que ajudaram direta ou indiretamente na elaboração deste trabalho, sempre na gratuidade da amizade e do companheirismo.

Ao pessoal da Secretaria do PPGER E PPGG, Adilson, Gérson, Nélon e Wanderley pela colaboração, o cafezinho, o chimarrão e a amizade de todo o dia.

A Rose, pela alegria constante e por manter nosso ambiente mais agradável.

À minha família Antunes, Ferreira & Cia. Especialmente aos meus irmãos, Derlin, Dida, Gaspar e Ronaldo, cada um com sua forma diferente de expressão e em seu carinho souberam compreender e aceitar minhas opções.

A Cris Rozado, minha querida amiga, que durante todo este processo, me aturou, se importou, ajudou e dividiu comigo cada angústia e todas as alegrias, estando sempre por perto quando precisei.

A minha família do coração, Elaine, Cacau, Bele, Cândice, Carla e Cláudia Lorenzoni, pelo sentimento especial que nos mantém juntos, pelo apoio incondicional e por se fazerem presentes em todos os momentos.

Aos meus amigos queridos, Aline Aita, Luiz André Costa, Luiz Geraldo Cervi, Ivone Rodrigues, Angelise Mendes e Marcela Villar pela amizade, companheirismo e por sua importância em minha vida pessoal e profissional.

Ao Éder Amaral, por fazer parte da fase inicial deste trabalho, por continuar ajudando, mesmo que o curso de nossas vidas tenha hoje caminhos diferentes.

“Agradecer é admitir que houve um momento em que se precisou de alguém, reconhecendo que jamais poderemos lograr a nós mesmos o dom de sermos auto-suficientes, pois ninguém e nada cresce sozinho, todos nós precisamos de uma palavra de incentivo, um olhar de apoio, um gesto de compreensão.” A todos vocês que compartilharam meus ideais, e que nas ocasiões fáceis ou difíceis estiveram comigo, torceram, se emocionaram, me emocionaram, deram apoio, colaboraram e, acima de tudo, me deram amor – especialmente ao Lucas e a Larissa, ao Aristeu, a Alda (Maninha) e a Dete, porque sem vocês eu não conseguiria – , agradeço de todo coração.

**“Para ser grande,
sê inteiro: nada
Teu exagera ou exclui.
Sê todo em cada coisa.**

**Põe quanto és
No mínimo que fazes.
Assim como em cada lago
a lua toda
Brilha, porque alta vive”.**
(Fernando Pessoa)

RESUMO

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

ANÁLISE DA EVOLUÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA PRODUTIVIDADE DE UMA LAVOURA DE SOJA (*Glycine max* (L.)Merrill). ESTUDO DE CASO

AUTORA: MARIA UBALDINA FERREIRA ANTUNES

ORIENTADOR: ENIO GIOTTO

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 06 de setembro de 2006.

Este trabalho consiste, em apresentar e discutir uma metodologia de interpretação da evolução temporal da produtividade de culturas agrícolas, cujas colheitas foram realizadas por máquinas equipadas com sensores de rendimento e de geoposicionamento. A partir de três cenários distintos, foi estudada a evolução da produtividade de uma lavoura de soja, considerando-se três safras agrícolas, a safra 2000/2001, a safra 2002/2003 e a safra de 2004/2005. Este estudo possibilitou dimensionar e definir as possibilidades e limitações que se encontram em cada cenário, bem como concluir que a metodologia apresentada para estudo de dinâmica temporal, possibilita a espacialização georreferenciada da variabilidade da diferença de produtividade entre duas safras sucessivas.

Palavras-chave: agricultura de precisão; mapas de produtividade; geoposicionamento.

ABSTRACT

Specialization Monograph
Post Graduation Program in Environmental Education
Universidade Federal de Santa Maria

ANALYSIS OF SPACE-TEMPORAL EVOLUTION OF THE PRODUCTIVITY IN SOY (*Glycine max* (L.) Merrill) CROP. CASE STUDY

Author: **MARIA UBALDINA FERREIRA ANTUNES**

Advisor: **ENIO GIOTTO**

Date and local of defense: Santa Maria, 06 of September of 2006.

This work consists in presenting and discussing a methodology of interpretation of the temporal evolution of the productivity of agricultural cultures, whose harvests were realized by machines equipped with income and geopositioning sensors. From three distinct scenes, the evolution of the productivity of a soy farming was studied, considering three agricultural harvests, 2000/2001, 2002/2003 and 2003/2004. This study made possible to calculate the dimensions and to define the possibilities and limitations that are found in each scene, as well as concluding that the methodology presented for study of temporal dynamics, makes possible the georeferenced spacialization of the variability of the productivity difference between two successive harvests.

Keywords: Precision Farming, Yield Maps, Geopositioning.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – Gráfico da análise estrutural do semivariograma.....	38
FIGURA 02 – Mapa da Localização do Município de Palmeira das Missões.....	43
FIGURA 03 – Imagem da Localização da Área de Estudo – Coxilha Colorado.....	44
FIGURA 04 – Mapas de Produtividade de soja 2001 e 2003.....	51
FIGURA 05 – Mapas de Produtividade de soja 2003 e 2004.....	52
FIGURA 06 – Mapa de células e Mapa da variabilidade espacial d diferença de produtividade 2003-2001.....	55
FIGURA 07 – Distribuição Gráfica da área da lavoura por classes de produtividade 2003-2001.....	57
FIGURA 08 – Mapa da Variabilidade Espacial da diferença de produtividade 2004-2003.....	58
FIGURA 09 – Distribuição Gráfica da área da lavoura por classes de diferença de produtividade 2004-2003.....	60

LISTA DE TABELAS

TABELA 01– Elementos dos modelos de produtividade de soja 2001/2003/2004.....	50
TABELA 02 – Distribuição da área da lavoura por classes de produtividade 2001/2003.....	52
TABELA 03 – Distribuição da área da lavoura por classes de produtividade 2003/2004.....	54
TABELA 04 – Quadro de Áreas da distribuição espacial das diferenças de produtividade 2003-2001.....	56
TABELA 05 – Quadro de Áreas da distribuição espacial das diferenças de produtividade 2004-2003.....	59

SUMÁRIO

RESUMO	07
ABSTRACT	08
LISTA DE FIGURAS	09
LISTA DE TABELAS	10
1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 Agricultura de Precisão	16
2.2 Mapas de Produtividade	22
2.3 Geoestatística	27
2.3.1 Krigagem.....	31
2.3.2 Semivariograma.....	33
2.4 Produtividade da Soja no RS	40
3. MATERIAL E MÉTODOS	44
3.1. Localização da Área de Estudo	44
3.2 Caracterização da Área de Estudo	46
3.3 Metodologia	47
3.3.1 Cenários Apresentados.....	47
3.3.1.1 Cenário 1 – Procedimento Convencional.....	47
3.3.1.2 Cenário 2 – Mapas de Colheita (Produtividade).....	48
3.3.1.3 Cenário 3 – Mapa da Evolução Temporal.....	49

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
4.1. Cenário 1 – Comparação entre safras	50
4.2 Cenário 2 – Análise de Modelos e Mapas de Produtividade das Colheitas 2001, 2003 e 2004	51
4.2.1 Análise 2001-2003.....	52
4.2.2 Análise 2003-2004.....	53
4.3 Cenário 3 – Análise Espacial da Evolução temporal da Produtividade Média	56
4.3.1 Análise 2001-2003.....	56
4.3.2 Análise 2003-2004.....	58
5. CONCLUSÕES	62
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

1. INTRODUÇÃO

A estreita relação apresentada entre a globalização da economia, as exigências do mercado em relação à qualidade dos produtos agrícolas e a sustentabilidade ambiental, trazendo como consequência o direcionamento do setor agrícola para um maior controle das informações de produção, é reconhecida há algum tempo e evidenciada em diversos estudos.

Considerando-se este enfoque, infere-se que novas formas de gerenciamento e a adoção de novas tecnologias se fazem necessárias para o sucesso de qualquer atividade agrícola e para que seja possível compreender e intervir em algumas variáveis da produção.

Inseridos neste cenário, estão os conceitos da agricultura de precisão, que possibilitam o monitoramento da variabilidade espacial das culturas, tendo como objetivo a otimização da produção agrícola, a minimização do impacto ambiental e a redução dos custos de produção.

Entretanto, estudos citam que, no Brasil, esta nova concepção de agricultura está sendo adotada gradativamente e, por se tratar de novos conceitos, como mapas de produtividade e a aplicação localizada de insumos, é premente a necessidade de se fazer pesquisas nesta área para que os mesmos sejam adotados dentro da realidade em que está inserida.

Esta situação é constatada por vários autores que afirmam ser ainda pequena a disponibilidade de informações produzidas no país a respeito desse assunto, o que torna imprescindível à busca de informações para que a tecnologia disponível seja corretamente utilizada.

Assim, entende-se ser muito importante a abordagem deste tema, pois embora sendo uma poderosa ferramenta de aplicação prática na agricultura, a análise espaço-temporal da produtividade de uma cultura apresenta uma literatura ainda carente e pouco explorada. Portanto, o estudo dessa variável torna-se relevante, não só no incremento à produção científica, bem como no planejamento de atividades agrícolas,

permitindo a quantificação do potencial produtivo e a tomada de decisões mais confiáveis a partir dos mapas.

Na visão de Sulzbach (2002), a agricultura de precisão pode ser definida como um ciclo de atividades e tomada de decisões no sistema produtivo, podendo ser dividido em três etapas: colheita e geração de mapas de produtividade, análise e avaliação do mapa de produtividade, e geração e execução de mapas de aplicação variável para as atividades de preparo do solo, plantio, fertilização do solo e pulverização da cultura.

Complementando, o autor diz que o mapa de produtividade é a representação gráfica da quantidade do produto agrícola colhida a cada ponto georreferenciado da lavoura, possuindo como objetivo a determinação da variabilidade espacial da produção.

Ao fazer referência a este assunto, alguns autores têm colocado que os mapas de produtividade da cultura podem ser utilizados como ponto de partida, para que se possam avaliar as causas da variabilidade de produtividade, assim como verificar as causas passíveis de modificações e as respostas econômicas e de impacto ambiental que o sistema de manejo, em locais específicos, pode trazer.

Para Molin (2000), inicialmente assume-se que o mapa de produtividade de um talhão é um conjunto de muitos pontos. Por ponto entende-se aqui uma pequena porção da lavoura, sendo que o dado mais importante é a quantidade de grãos colhidos naquele determinado ponto, e enfatiza que é necessário conhecer a posição espacial deste ponto.

A geração e a interpretação de mapas de produtividade de culturas agrícolas é um dos segmentos da agricultura de precisão, que tem recebido especial atenção de pesquisadores e de fabricantes de máquinas agrícolas, em face de sua importância no contexto do entendimento do processo da variabilidade espacial da produção agrícola e na definição de ações de manejo agrônômico, que visam o aumento e manutenção sustentada dos índices de produtividade de uma lavoura agrícola.

A pesquisa em relação aos mapas de produtividade desenvolve-se na atualidade, principalmente com dois focos: o foco relativo à indústria/mecanização, com estudos de sensores de rendimento e instrumentação compatível, que são instalados

em colheitadeiras equipadas com sistema de geoposicionamento (receptores GPS). O outro foco é o agrônômico, que concentra estudos de impacto da tecnologia, na gestão da lavoura, com os objetivos de caracterizar e definir a importância e metodologia de aplicação e análise destes mapas de rendimento, sendo que é nesta última situação que se encontra o objetivo do presente trabalho.

O Sistema de Gerenciamento Agropecuário Ciência Rural Campeiro 5 – CR-Campeiro 5 – (Giotto *et. al.*, 2004) apresenta rotinas de agricultura de precisão, que possibilitam a geração e a edição de mapas de colheita, a partir de dados de colheitadeiras equipadas com sistema GPS e sensor de rendimento.

Com o emprego deste *software* o objetivo geral deste trabalho é, portanto, o de apresentar três cenários da interpretação da evolução temporal da produtividade de soja (*Glycine max*) em três safras distintas (2001 – 2003 – 2004), oriundas de uma mesma área.

Os cenários propostos envolvem o procedimento convencional de análise evolutiva, a geração e interpretação dos mapas de produtividade, e a modelagem georreferenciada para estudos de comparação evolutiva entre modelos digitais de produtividade.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Agricultura de Precisão

Com o aumento da produtividade e decréscimo dos preços dos produtos agrícolas, no mercado mundial globalizado, a agricultura se depara com a necessidade de otimizar a utilização dos recursos de produção. Altas produtividades vêm sendo observadas em áreas agrícolas onde grandes investimentos em tecnologia e produtos têm sido aplicados. Porém, mais importante que altas produtividades é a utilização racional e econômica destes recursos e técnicas de produção agrícola (SHIRATSUCHI, 2001).

Este aspecto torna-se relevante, requerendo novas formas de gerenciamento agrícola e, com o avanço da tecnologia, foi possível que computadores, *softwares* de sistemas de informações geográficas, sensores e outros conjuntos de ferramentas e técnicas de produção auxiliassem a agricultura. Surgiu então um novo sistema de produção que, no Brasil, é denominado de Agricultura de Precisão e que, há alguns anos, já é utilizado pelos agricultores de países de tecnologia avançada, chamado de *Precision Agriculture*, *Precision Farming* ou *Site-Specific Crop Management* (MANZATTO *et al.*, 1999).

Shiratsuchi (2001), cita que o Conselho Nacional de Pesquisa dos Estados Unidos definiu a agricultura de precisão como: “manejo estratégico que utiliza a tecnologia da informação para reunir dados de múltiplas fontes levando à melhor tomada de decisão dentro do sistema de produção agrícola”.

Ainda, segundo o mesmo autor, este sistema de produção e gerenciamento localizado, que se embasa no conceito de tratamento diferenciado das áreas agrícolas, não é novo. Porém, foi só a partir de 1980, com os diversos avanços na área, que essa tecnologia tornou-se disponível para a agricultura. E, assim, todas estas recentes evoluções tecnológicas nos diversos campos, permitiram que a automação de

processos e sistemas pudesse se tornar realidade, possibilitando a prática da agricultura de precisão.

Esta filosofia de trabalho é definida por Molin (2000) como um elenco de tecnologias e procedimentos utilizados para que os sistemas de produção agrícolas sejam otimizados, tendo como elemento chave o gerenciamento da variabilidade espacial da produção e os fatores a ela relacionados, sendo na verdade um sistema de gestão ou gerenciamento.

Ao abordar a discussão sobre as práticas convencionais na agricultura, Searcy (1997) considera que na agricultura de hoje os produtores tendem a cultivar cada campo como uma única unidade, embora eles lhe reconheçam freqüentemente a variabilidade, tratam-no como um campo médio, esperando que o que se coloca em um, seja adequado para todo o resto.

Capelli (1999) argumenta que a solução hoje utilizada ainda é de focar grandes áreas e entendê-las como homogêneas, levando ao conceito da necessidade média para a aplicação dos insumos, o que faz com que, por exemplo, a mesma formulação e/ou quantidade do fertilizante seja utilizada para toda a área, atendendo apenas às necessidades médias e não considerando, desta forma, as necessidades específicas de cada parte do campo. O mesmo acontece para os demais insumos, causando como resultado uma lavoura com produtividade não uniforme.

Isto está de acordo com o que foi citado por Miller & Supalla (1996), ao considerar que o conceito de agricultura de precisão se distingue da agricultura tradicional por seu nível de manejo. Enquanto esta administra uma área inteira como uma única unidade, naquela o manejo é adaptado para pequenas áreas dentro de um campo. Os autores acentuam, ainda, que a agricultura de precisão é um termo aplicado a uma larga ordem de tópicos que se relacionam ao manejo preciso de unidades pequenas de terra, em contraste com o manejo tradicional, onde um campo inteiro é compreendido como uniforme. Esta oportunidade de se administrar pequenas áreas de terra individualmente ficou possível devido à disponibilidade de sistemas de posicionamento global que podem ser usados para localização exata em terra de equipamentos e máquinas.

Complementando esta colocação, Canzian *et al.* (1999), alertam que alguns campos podem ser bem uniformes, mas outros apresentam variações no tipo de solo, fertilidade e outros fatores que afetam a produção agrícola. Se a variabilidade do campo puder ser medida e registrada, estas informações poderão ser usadas para otimizar as aplicações em cada ponto, sendo este o novo conceito de agricultura de precisão. Esse conceito já foi reportado por Blackmore (1996), onde o autor enfatiza que o manejo da variabilidade é a chave para o uso efetivo da tecnologia de agricultura de precisão.

Assim, Antuniassi (1998) defende que o mapeamento detalhado dos fatores de produção e a aplicação localizada de insumos são os princípios básicos do sistema.

Uma opinião mais cautelosa quanto à agricultura de precisão é apresentada por Miranda (2003), ao considerar que ela envolve um complexo processo, cujo alicerce é o conhecimento espacial preciso da atividade agrícola, freqüentemente baseado no uso de dados obtidos com auxílio de satélites.

Isto está relacionado com o que Clark & McGuckin (1996) e Strauss *et al.* (1998) argumentam ao propor que a agricultura de precisão abarca sistemas automáticos, basicamente compostos por micro-controladores, sensores e atuadores acoplados ao implemento agrícola pré-existente e interligados ao sistema de posicionamento global (GPS).

Davis *et al.* (1998) concordam que a agricultura de precisão tem sido freqüentemente definida com base nas tecnologias que permitem que ela seja realizada, como GPS ou sistemas de taxa variável, mas defendem que tão importante quanto os dispositivos usados na agricultura de precisão, é perceber que a informação usada ou coletada é o ingrediente chave para o sucesso do sistema.

As proposições de Reetz & Fixen (1999) partem do princípio que as tecnologias de agricultura de precisão sempre demandam ferramentas agronômicas de produção mais desenvolvidas e que, portanto, o sucesso da sua aplicação depende do entender agrônomo do sistema de produção que se administra. Nesse caso, conhecimento agrônomo e bom senso faz a diferença.

Contribuindo com esta questão, Parkin & Blackmore (1995), afirmam que a agricultura de precisão é uma aproximação de sistemas e requer uma compreensão dos processos envolvidos para alcançar uma meta particular. Porém, para eles, a meta

pode não ser necessariamente maximizar rendimento, mas maximizar vantagem financeira dentro de uma série de constrangimentos ambientais e financeiros.

Entretanto, Batchelor *et al.* (1997) referem-se à agricultura de precisão como uma filosofia de manejo da fazenda na qual os produtores são capazes de identificar a variabilidade dentro de um campo, e assim manejá-la de forma a aumentar a produtividade e os lucros. Da mesma forma, segundo a Embrapa (1997), o termo agricultura de precisão 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 agrícola.

Na opinião de Doerge (1999), o princípio fundamental da agricultura de precisão é o de controlar e compilar as informações agronômicas para prover necessidades atuais de partes de campos, em lugar de necessidades comuns para campos inteiros. Ou seja, aplicação de insumos em locais específicos comumente usada dividindo-se os campos inteiros em zonas de manejo menores, homogêneas.

Roza (2000) estende esta afirmação, ao se referir à agricultura de precisão como uma metodologia de gerenciamento agrícola que parte de informações exatas, precisas e se completa com decisões exatas, considerando-a como uma maneira de gerir um campo produtivo metro a metro, levando em conta o fato de que cada parcela da fazenda tem propriedades diferentes. Assim sendo, a agricultura de precisão promete reverter o quadro atual, permitindo a aplicação de insumos agrícolas nos locais corretos e nas quantidades requeridas (FATORGIS, 1998).

A partir desses argumentos pode-se concluir que o principal conceito é aplicar no local correto, no momento adequado, as quantidades de insumos necessários à produção agrícola, para áreas cada vez menores e mais homogêneas, tanto quanto a tecnologia e os custos envolvidos o permitam (MANZATTO *et al.*, 1999). Os autores ainda falam que essa estratégia da agricultura de precisão combina as novas tecnologias, sustentando a era da informação com uma agricultura industrial madura. É um sistema de manejo de produção integrado, que tenta igualar o tipo e a quantidade de insumos que entram na propriedade com as necessidades da cultura em pequenas áreas dentro de um campo da propriedade. Davis (1998) entende que esta meta não é

nova, mas tecnologias agora disponíveis permitem que o conceito de agricultura de precisão possa ser percebido em uma produção prática.

Seguindo esta linha de pensamento, Capelli (1999) coloca que a agricultura de precisão apresenta a vantagem de possibilitar um melhor conhecimento do campo de produção, permitindo 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.

O que pode ser confirmado por Gentil & Ferreira (1999), ao apresentarem os grandes benefícios que a agricultura de precisão promete para os usuários deste sistema, como: redução do grave problema do risco da atividade agrícola; redução dos custos da produção; tomada de decisão rápida e certa; controle de toda situação, pelo uso da informação; maior produtividade da lavoura; mais tempo livre para o administrador; e melhoria do meio ambiente pelo menor uso de defensivo.

De forma análoga, Campo (2000) sintetiza esta proposição ao atribuir à agricultura de precisão, os seguintes benefícios: redução de quantidades de insumos; redução dos custos de produção; redução da contaminação ambiental; e, aumento no rendimento das culturas.

Assim, por ser uma tecnologia cujo objetivo consiste em aumentar a eficiência, com base no manejo diferenciado de áreas agrícolas a agricultura de precisão não consiste simplesmente na habilidade em aplicar tratamentos que variam de local para local, devendo 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 (MANTOVANI *et al.*, 1998).

Para estes autores, além de útil à agricultura de precisão, esta definição engloba a idéia de compromisso no uso da terra, relativamente às gerações futuras. Um manejo sustentável implica algo mais além da manutenção dos índices de produtividade.

Tal abordagem foi sugerida por Queiroz *et. al.* (2000), ao postularem que a agricultura de precisão é a tecnologia cujo objetivo é o aumento da eficiência, baseado no manejo diferenciado de áreas na agricultura. Tecnologia essa, que se encontra em constante desenvolvimento, modificando as técnicas existentes e incorporando novas técnicas que fornecem ferramentas aos especialistas em manejo agrícola.

2.2 Mapas de Produtividade

Considerando-se a complexidade e o dinamismo dos processos que envolvem os avanços tecnológicos, especialistas têm notado, cada vez mais, que os diversos setores da agricultura não podem ser tratados de maneira homogênea no que diz respeito à medição de variáveis nas áreas agrícolas. Neste sentido, a variação espacial e temporal deve ser considerada para que se possa ter melhor aplicação e aproveitamento dos insumos, podendo assim melhorar a produtividade, reduzir o custo de produção e o impacto ambiental causado pelo excesso utilizado (FARIAS *et. al.*, 2003).

Isso remete aos argumentos de Blackmore & Larsdcheid (1997), para quem os conceitos da agricultura de precisão estão relacionados à variabilidade da produtividade e dos atributos do solo e das plantas. Segundo estes autores, existem três tipos de variabilidade: espacial, temporal e preditiva. A variabilidade espacial é observada ao longo do campo e pode ser facilmente constatada em qualquer mapa de produtividade ou fertilidade. Já a variabilidade temporal é observada quando se comparam mapas de produtividade de vários anos e, a variabilidade preditiva consiste na diferença entre a previsão de algum fator e o que realmente aconteceu. Os autores argumentam que, para gerenciar cada uma das variabilidades, é necessário entendê-las e, sobretudo, mensurá-las.

Foi no início dos anos 90, quando o sistema GPS tornou-se disponível para usuários, possibilitando sua utilização em sistemas de mapeamento de produtividade que os primeiros mapas de produtividade foram gerados (Haneklaus *et. al.*, 2000). A partir daí, o mapeamento da produtividade é considerado por muitos pesquisadores como sendo uma parte essencial da agricultura de precisão (MENEGATTI, 2002). Consideração esta compartilhada por Molin (2000), ao enfatizar que o ponto de partida para usuários e pesquisadores para se visualizar a variabilidade espacial das lavouras é, sem dúvida, um mapa de produtividade, materializando a resposta da cultura.

O mesmo autor cita que ao início da década de 90 é que começaram a ser disponibilizados vários produtos do mercado mundial que se habilitaram a gerar dados para a obtenção de mapas de produtividade.

Balastreire (1998) e Pecze *et. al.* (1999) consideram que a geração de mapas de produtividade é a fase que representa maior facilidade de execução, devido ao número de pesquisas já realizadas nos países mais desenvolvidos e opções de equipamentos existentes, principalmente para cultura de cereais.

Afirmando que a implementação de um sistema de agricultura de precisão implica um ciclo fechado de tarefas, Molin (2000) reforça que o mapa de colheita é a informação mais completa para visualizar-se a variabilidade espacial das lavouras. O autor ainda explica que, para a geração de tais mapas, o monitor de colheita das máquinas armazena, na maioria dos sistemas, arquivos textos com informações de posicionamento (latitude, longitude e altitude), fornecidas pelo receptor GPS, e dados da lavoura como produtividade e umidade de grãos.

Nesse sistema baseado na variabilidade espacial, a coleta de informações é intensa. Estão inseridas as amostragens de solo, de folhas e os mapas de produtividade, que traduzem a resposta da cultura às práticas de manejo adotadas. A medição da produtividade é um processo automático, a partir de sensores instalados em colhedoras, capazes de definir com relativa acurácia a quantidade de produto que está sendo colhida e a área onde foi produzida (MENEGATTI & MOLIN, 2004).

A partir da geração de mapas de produtividade, é possível constatar a variabilidade espacial da produção em áreas agrícolas, evidenciando-se que uma área não é homogênea, o que leva a produtividades distintas e, por conseguinte, à rentabilidade econômica variável (CREMONINI, 2002). O autor continua, dizendo que as causas da variabilidade podem ser as mais diversas e, portanto, a geração confiável de informação, relacionada às causas ou aos efeitos, torna-se uma ferramenta de grande importância para a tomada de decisões.

Com a automação, grande quantidade de dados pode ser coletada com custo relativamente baixo. Os mapas de colheita são produzidos desta forma, automaticamente, com sensores e medidores de produção e de área, integradores

destas variáveis. No gerenciamento de propriedades muitas decisões podem ser tomadas tendo por base o mapa de produtividade (MENEGATTI, 2002).

Para Shiratsuchi (2001), a tecnologia para a produção de mapas de produtividade está totalmente desenvolvida, e existem vários equipamentos no mercado para a realização desta tarefa. Tais equipamentos, denominados monitores de produtividade, possuem sensores que medem os fatores de produção, como área colhida, produção e umidade do grão. O GPS tem função de localização da máquina no campo, e não é parte do monitor de produtividade, embora seja imprescindível para a realização de um mapa de produtividade. Há grande diversidade com relação aos monitores de produtividade, porém, a maioria é composta por sensores de produtividade, umidade de grão, velocidade da máquina e monitor/coletor de dados.

Menegatti (2002) coloca que a medição da produtividade é um processo automático onde um receptor GPS fornece o posicionamento, georeferenciando a produção para possibilitar seu mapeamento. Por ser automático, o processo permite que uma grande quantidade de dados seja coletada, permitindo, porém, alerta o autor, que erros sejam introduzidos, como por exemplo, os dados coletados com a colhedora parada, erros de posicionamento e erros de leitura do sensor de produção. Assim é que, na visão do autor, a qualidade da informação torna-se fator primordial quando os mapas formam as bases de dados que sustentará o processo de tomada de decisão.

Na opinião de Schueller (2000), o monitoramento da produtividade nas culturas de soja e milho é a tecnologia mais comercialmente popular na produção agrícola espacialmente variável e os dados históricos de produtividade se fazem necessários para se entender os efeitos do clima, em anos diferentes. Cita ainda que, nos Estados Unidos, um dos maiores impactos da agricultura de precisão foi nas vendas de produtos para a drenagem, como tubos. Mapas de produtividade de grãos de soja mostraram a muitos fazendeiros as grandes quedas de produtividade, devido às manchas úmidas dentro dos seus campos. O potencial de lucro da drenagem foi quantificado facilmente, a partir dos mapas.

Um sistema de medição de produtividade é responsável por medir, na concepção de Balastreire *et. al.* (1997), direta ou indiretamente, a produção de uma cultura, em pontos cujas posições podem ser determinadas com precisão. Quando a produtividade

e a posição são determinadas ao mesmo tempo, o sistema de medição de produtividade é chamado de instantâneo. Os autores desenvolveram um sistema de pesagem automático para o mapeamento da produtividade de milho (*Zea mays*), com um sub-tanque adaptado dentro do tanque de grãos de uma combinada comercial.

De acordo com Doerge (1999), os mapas e o monitoramento da produtividade são adotados em muitos lugares nos Estados Unidos. Algumas propriedades americanas possuíam de 3 a 5 mapas de colheita que, de certo modo, somente documentam a distribuição espacial da produtividade na área, mas não permitem determinar qual o fator que causou a variação. As interpretações destes mapas aumentam as chances de entender e poder controlar os fatores da variabilidade e suas origens.

Em um estudo realizado em diversas fazendas na Inglaterra, Stafford *et. al.* (1999) utilizaram mapas de produtividade de diversas culturas para a delimitação de áreas em potenciais unidades de manejo. Coletaram por mais de três safras os dados monitores de colheita para a elaboração destes mapas. Analisando-os, observaram uma grande variabilidade de produtividade numa mesma safra e uma falta de consistência no padrão desta variabilidade de uma safra para outra. Para análise posterior, estes dados foram submetidos a técnicas de reconhecimento padrão, com o objetivo de identificar sub-regiões do campo que correspondiam a um número limitado de padrões distintos de safra em safra.

Ao trabalharem com mapas de produtividade obtidos num talhão de 37 hectares, durante as colheitas de trigo nos anos de 1995 e 1996, Juerschik & Giebel (1999) buscaram correlações entre os mapas produzidos em diferentes anos para ratificar as práticas de agricultura de precisão baseadas em mapas de produtividade. Eles identificaram a necessidade de filtragem de dados brutos para a interpretação e análise de correlação dos mapas. De modo bastante simples eles utilizaram separadamente três filtros que classificavam como discrepantes os dados fora do limite e consideraram que a exclusão de valores fora dos limites foi favorável ao aumento da correlação.

Ao estabelecerem uma grade de 92 pontos com espaçamento de 50x50 metros, Freitas *et. al.* (2000) determinaram para cada ponto os componentes fitotécnicos da produtividade de grãos (milho safrinha). Neste estudo, foram avaliados os números de

vagem por planta, o número de grãos por planta e por vagem, a massa seca de 1000 grãos e a altura das plantas. Os resultados mostraram que há variabilidade espacial para todos os componentes avaliados.

Todos os monitores de produtividade geram pontos que, quando dispostos de maneira ordenada e baseados em suas coordenadas, formam o mapa de produtividade. Para combinar e comparar diferentes informações coletadas sobre a mesma área, todos os dados devem ser interpolados numa grade uniforme, para que as diferentes informações possam ser comparadas (HANEKLAUS *et al.*, 2000).

2.3 Geoestatística

Farias *et. al.* (2002) citam que a geoestatística, utilizada para representar a dependência espacial nas amostragens, surgiu na África do Sul, quando o Engenheiro de Minas, D. G. Krige, em 1951, trabalhando com dados de concentração de ouro, concluiu que não conseguia encontrar sentido nas variâncias se não levasse em consideração a distância entre as amostras. Zimback (2003) explica que Matheron em 1971, baseado nessas observações, desenvolveu uma teoria, a que chamou de teoria das variáveis regionalizadas, as quais contêm os fundamentos da geoestatística.

Mas foi só no começo da década de 1990 que começaram a ser desenvolvidas tecnologias e princípios para manejar as variabilidades espacial e temporal, associadas aos aspectos da produção agrícola. Sabendo-se que a produtividade das culturas varia espacialmente, o desafio enfrentado pela Agricultura de Precisão é determinar as causas dessas variações. As variações espaciais podem ser estudadas através de técnicas geoestatísticas que permitem elaborar mapas e delimitar áreas de manejo diferenciadas (FARIAS *et. al.*, 2002).

A geoestatística, como auxiliar na descrição e representação de variáveis contínuas de atributos dos solos e paisagens, primeiramente foi utilizada para estudar uma única variável; posteriormente, métodos geoestatísticos foram desenvolvidos para múltiplas variáveis e para quantificar variáveis correlacionadas, não conhecidas ou de difícil determinação (STEIN *et al.*, 1988 e MCBRATNEY *et al.*, 1991). No Brasil, o emprego de amostragem regionalizada e de métodos geoestatísticos para solos ainda é incipiente e muito pouco disseminado em comparação aos métodos convencionais de análises estatísticas (ZIMBACK, 2003).

Numa interpretação bem articulada, Abreu *et. all.* (2003) definem a geoestatística como uma coleção de técnicas para a solução de problemas de estimativa envolvendo variáveis espaciais e tem sua base conceitual na interpretação espacial de uma variável regionalizada com realização particular de uma função aleatória. Tornando mais ampla a explicação, os autores esclarecem que a geoestatística também permite a interpretação dos resultados obtidos do estudo com base na estrutura da sua

variabilidade natural, considerando a existência de dependência espacial dentro do espaço da amostragem.

Em estudos científicos que estejam de acordo com o conceito de agricultura de precisão, surge a necessidade de elaboração de mapas que descrevam propriedades de uma dada região. Para a produção destes mapas de superfície de resposta (tridimensionais) e/ou isolinhas (contornos bidimensionais), pesquisadores utilizam modelos estatísticos clássicos (interpolação pelo inverso do quadrado da distância, interpolador de tendência) e de geoestatística na obtenção de métodos de interpolação de valores para locais não amostrados. Enquanto os métodos clássicos utilizam amostras independentes e identicamente distribuídas, os métodos de geoestatística utilizam amostras espacialmente distribuídas segundo um *grid*, georeferenciadas por um sistema de coordenadas e que possam apresentar uma estrutura de dependência (SILVA *et. al.*,2000).

Ao fazer um paralelo entre as metodologias propostas pela estatística clássica e a geoestatística, Silva (1988) *apud* Ortiz (2003), argumenta que esta difere daquela, basicamente, na forma de avaliar a variação dos dados. Enquanto a estatística clássica pressupõe não haver relação entre a variação e a distância entre os pontos de amostragem, isto é, as variações são aleatórias no espaço, a geoestatística considera existir uma dependência da variação com o espaço de amostragem e que, em parte, essas variações são sistemáticas.

Vieira (2000), ao se referir a este tema considera que se uma determinada propriedade ou parâmetro varia de um local para outro com algum grau de organização ou continuidade, expresso através de dependência espacial, a estatística tradicional deve ser complementada pela geoestatística. Por estatística tradicional, explica o autor, entende-se aquela que utiliza parâmetros como média e desvio padrão para representar um fenômeno, e baseia-se na hipótese principal de que as variações de um local para outro são aleatórias. Desse modo, estes dois ramos da estatística têm validade de aplicação em condições distintas.

Esta abordagem foi analisada por Landim (1998), quando descreveu a geostatística como um tópico especial da estatística aplicada que trata de problemas referentes às variáveis regionalizadas, aquelas que tem comportamento espacial

mostrando características intermediárias entre variáveis verdadeiramente aleatórias e as totalmente determinísticas.

Na análise geoestatística, a variabilidade espacial é profundamente avaliada e modelada para, em seguida, se empregar técnicas apropriadas de estimativas, cujos resultados serão imagens representativas da distribuição no espaço, das propriedades que estão sendo analisadas (Farias & Albuquerque Júnior, 2003). As propriedades geotécnicas, explicam os autores, dadas as suas características enquadram-se num universo de variáveis, cujos valores são resposta a processos naturais, como geológicos, pedológicos e outros. Desta forma, técnicas como a geoestatística, fundamentadas nos modelos probabilísticos, constituem-se em uma abordagem apropriada para quantificar a aparente aleatoriedade das variáveis geotécnicas, efetuando-se estimativas e avaliando-se incertezas.

Na opinião de Vieira *et. al.* (1981) e Vauclin *et. al.* (1983), a variabilidade espacial das variáveis pode ser estudada por meio das ferramentas da geoestatística, que se fundamenta na teoria das variáveis regionalizadas, segundo a qual os valores de uma variável estão, de alguma maneira, relacionados à sua disposição espacial e, portanto, as observações tomadas a curta distância se assemelham mais do que aquelas tomadas a distâncias maiores. Complementando, Souza (1992) e Malta (1997) complementam que uma premissa básica é que em todas as áreas existem regiões mais ricas do que outras, para uma determinada variável. Logo, amostras tomadas numa região mais rica seriam, em média, mais ricas do que as tomadas numa região mais pobre, ou seja, o valor da variável regionalizada depende de sua localização, isto é, depende da sua posição espacial.

Estas variáveis têm em comum uma dupla característica: são aleatórias já que os valores numéricos observados podem variar consideravelmente de um ponto a outro no espaço; são espaciais e porque apesar de muito variáveis dentro do espaço, os valores numéricos observados não são inteiramente independentes (GUERRA, 1988).

Salviano (1996) menciona que o emprego da geoestatística, com o objetivo de identificar e avaliar a estrutura espacial de variáveis introduz uma nova e importante dimensão para a análise da interação entre atributos do solo e das culturas. As ferramentas da geoestatística permitem a análise da dependência espacial, a partir do

ajuste de semivariogramas experimentais a uma função simples, segundo um modelo matemático, e a caracterização da variabilidade espacial, por meio do mapeamento da variabilidade a partir da estimativa, sem tendenciosidade, de dados para locais não amostrados. Com a utilização destas ferramentas pode-se analisar, adequadamente, dados de experimentos, com a possibilidade de obter informações não reveladas pela estatística clássica.

Na visão de Folegatti (1996), para o ajuste de semivariogramas a normalidade dos dados não é necessária, mas desejável. Caso a distribuição não seja normal, mas seja razoavelmente simétrica, pode-se admitir as hipóteses necessárias à construção do semivariograma. Estendendo esta colocação, Vieira & Lombardi Neto (1995), explicam que os cálculos utilizados em geoestatística não requerem o conhecimento da distribuição de freqüências da variável analisada.

Lamparelli *et. al.* (2001) afirmam que para a aplicação da geoestatística, um conjunto de amostras homogeneamente distribuído na região-alvo seria o ideal, mas isto poderia vir acompanhado por um viés provocado pela presença de algum padrão embutido no próprio perfil da região.

Por essa razão, Ortiz (2003) considera que uma certa aleatorização sempre é preferida. Apesar da aleatorização vir acompanhada por uma determinada dificuldade de localização das amostras, e talvez uma incompleta cobertura da área estudada quando o número de amostras não é suficientemente grande, estimadores de estatísticas como média e variância não são viciados nesse caso. Na concepção do autor, uma mistura dos dois esquemas, regular e aleatório, seria o ideal para que se mantivessem os principais benefícios de cada esquema em separado. A amostragem aleatória estratificada possui parte das vantagens do esquema aleatório e do regular. Os pontos são alocados aleatoriamente dentro de uma célula da grade. Com isso cobre-se parte do problema do viés nas estimativas, ainda mantendo uma distribuição homogênea na área.

Vieira (2000) salienta a extrema importância de que o modelo estatístico adotado na análise dos dados seja validado usando os dados experimentais, para garantir assim, que as ferramentas estatísticas adequadas e corretas sejam utilizadas. O autor ressalta também que a geoestatística aplicada à agricultura de precisão tem por

objetivo identificar, na aparente desordem entre as amostras, a medida da correlação espacial, realizar estimativas de valores em locais não amostrados a partir de alguns valores conhecidos na população (krigagem) e identificar inter-relações de propriedades no espaço (análise de correlação entre atributos), além de permitir estudar padrões de amostragem adequados.

2.3.1 Krigagem

Em agricultura de precisão utilizam-se, basicamente, os algoritmos de interpolação denominados inverso do quadrado da distância a determinada potência e krigagem (MENEGATTI, 2002).

A krigagem na opinião de Isaaks & Srivastava (1989), é um dos mais flexíveis e complexos métodos de interpolação e extrapolação de valores para quase todos os tipos de dados. Entretanto, os autores explicam que, com uma grande quantidade de dados, este método pode se tornar bastante demorado. Ressaltam, ainda, que sua utilização requer o tratamento preliminar dos dados através da geração de um modelo de variabilidade espacial denominado semivariograma.

Expressando-se de forma mais ampla, estes autores explicam que o método do inverso da distância estipula pesos aos pontos que são inversamente proporcionais à distância elevada a uma potência que, normalmente, é quadrática. Desta forma, o interpolador dá maior importância a valores mais próximos do ponto a ser estimado. Quanto maior o valor da potência, maior o peso de pontos mais próximos e menor a influência de pontos mais longínquos. A krigagem é um método de interpolação mais refinado, que leva em consideração um modelo de dependência espacial para estimar dados em pontos não amostrados. A dependência espacial é explorada utilizando-se, como ferramenta, o semivariograma.

Landim (1998) descreve a Krigagem como uma série de técnicas de análise de regressão que procura minimizar a variância estimada, a partir de um modelo prévio, que leva em conta a dependência estocástica entre os dados distribuídos no espaço.

Falando sobre o método, Isaaks & Srivastava (1989) revelam que como os métodos tradicionais de interpolação de pontos (como a ponderação da distância

inversa, a triangulação e a média das amostras locais), a krigagem pode fornecer a estimativa para um local específico. Frequentemente, os métodos tradicionais podem ser tão acurados, mas consomem muito mais tempo do que a krigagem.

Entre as principais características do método, Rossi *et al.* (1994) separaram três características da krigagem que a distinguem dos outros métodos de interpolação. Primeiro, a Krigagem pode fornecer uma estimativa que é maior ou menor do que os valores da amostra, sendo que as técnicas tradicionais estão restritas a faixa de variação das amostras. Segundo, enquanto os métodos tradicionais usam distâncias euclidianas para avaliar as amostras, a krigagem tem a vantagem de usar a distância e a geometria (relação de anisotropia) entre as amostras. Terceiro, diferentemente dos métodos tradicionais a krigagem leva em conta a minimização da variância do erro esperado, por meio de um modelo empírico da continuidade espacial existente ou do grau de dependência espacial com a distância ou direção, isto é, através do variograma, covariograma ou correlograma.

Landim (1998) cita que as formas mais usuais de krigagem lineares são: simples, ordinária, universal e intrínseca. Enquanto que, as krigagens não-lineares utilizam alguma transformação não-linear dos dados originais e são: lognormal, multigaussiana, indicativa, probabilística e disjuntiva. A krigagem simples, na interpretação de vários autores, como BURGESS & WEBSTER (1980), VIEIRA *et al.* (1981); JOURNEL (1986), ALLI *et al.* (1990), é a mais comum das estimações usadas na ciência do solo.

Dentro das bases conceituais, Wackernagel (1993) designa que a krigagem é um método para estimar, num contexto espacial, o valor de uma variável de interesse em um local onde não foi determinado, usando, para isso, dados obtidos em pontos adjacentes.

Leenaers *et al.* (1990) esclarecem que a krigagem pode ser significativamente afetada pela estrutura e variabilidade espacial dos dados, pela escolha do modelo do variograma, do raio pesquisado e pelo número de vizinhos próximos utilizados para a estimação.

Diversos estudos foram feitos (Weber & Englund, 1992; Wollenhaupt *et al.*, 1994; Gotway *et al.*, 1996), utilizando um número pequeno de pontos para o cálculo da krigagem. Nestes estudos eles relatam que a escolha do modelo do variograma foi

limitada para o modelo esférico e um número fixo de vizinhos foi usado para todos os conjuntos de dados. Em estudos subseqüentes, Weber & Englund (1994) notaram que com uma criteriosa seleção dos modelos dos variogramas e do número dos vizinhos mais próximos usados na estimação, mostraram-se significativamente melhores na precisão da estimação por krigagem, tornando-se um método mais acurado do que o método do inverso da distância.

2.3.2 Semivariograma

Os métodos geoestatísticos conseguem juntar o aspecto espacial (topológico) com o aspecto aleatório (probabilístico). Estes métodos se baseiam na teoria das variáveis regionalizadas, a partir da qual é possível estudar a estrutura espacial e estimar o erro cometido na avaliação, levando em conta a posição real das amostras. Surgiu, então, a necessidade de se encontrar novas ferramentas matemáticas que permitam estudar, de modo sintético, as duas características essenciais das variáveis regionalizadas (aspecto aleatório e aspecto espacial), ou seja, extrair da aparente desordem dos dados disponíveis uma imagem da variabilidade dos mesmos e, também, uma medida da correlação existente entre os valores tomados em dois pontos do espaço. Este é o objetivo da análise estrutural que pode ser alcançada, por exemplo, através do semivariograma que nos permite estudar a dispersão natural das variáveis regionalizadas. Ele indica o grau de continuidade espacial e nos dá um mínimo necessário de informação sobre o fenômeno a ser estudado (FARIAS & ALBUQUERQUE JÚNIOR, 2003).

Valente (1989) esclarece que a função semivariograma deve o seu nome a Matheron (entre 1957 e 1962), bem como o seu tratamento e interpretação teórica e prática, embora seja uma função conhecida anteriormente, já tendo sido citada por Langsaetter em 1926.

Para Cressie (1989), o semivariograma é a pedra fundamental da geoestatística. O autor se refere à análise variográfica como uma arte, no melhor senso do termo. Journel (1988), esclarece que, antes requer bons instrumentos, como um bom

programa interativo; mas também experiência e habilidade para sintetizar e, às vezes, ir além dos dados.

Numa visão mais técnica, Landim (1998), argumenta que os semivariogramas expressam o comportamento espacial da variável regionalizada ou de seus resíduos e mostram o tamanho da zona de influência em torno de uma amostra, a variação nas diferentes direções do terreno e mostrando também continuidade da característica estudada no terreno.

Na compreensão de diversos autores (Hoeksema *et al.*, 1989; Wackernagel, 1993; Vieira, 1995), o semivariograma é o ajuste teórico dos dados analisados a modelos matemáticos, e isto, na opinião dos mesmos, é um dos aspectos mais importantes da aplicação da teoria das variáveis regionalizadas. Conhecido o semivariograma da variável em estudo e havendo dependência espacial, pode-se interpolar valores em qualquer posição no campo de estudo, pelo método da krigagem, baseando-se na função da dependência espacial.

Entretanto, alerta Valente (1989), geralmente a modelagem e a interpretação do variograma não são simples. Ambas exigem conhecimentos do fenômeno e da maneira que foi realizada a coleta das amostras, para que se possa analisar adequadamente os dados.

Rossi *et al.* (1994) consideram que o variograma e outros parâmetros geoestatísticos de um modelo de função aleatória estacionária, são constantes em um determinado espaço amostral e estimados das medidas verdadeiras. Sabendo-se que, o padrão espacial ocorre em uma pequena ou grande escala e tendo alguma idéia do tamanho desses padrões, garantir-se-á o sucesso dos instrumentos geoestatísticos, que serão utilizados para fornecerem estimativas de locais não amostrados (interpolação).

Discorrendo sobre o mesmo tópico deste tema, Diniz (1997) descreve que o variograma é uma curva que representa o grau de continuidade de uma variável regionalizada. Em termos gerais, relata o autor, o variograma é uma função crescente com a distância h , desde que, em média, quanto maior a distância que ambas as amostras estiverem uma da outra, maiores serão as diferenças entre os seus valores. Esta afirmação fornece um conceito preciso da zona de influência de uma amostra.

Guerra (1988) chegou à conclusão que a determinação do variograma é o primeiro passo no procedimento de uma estimativa através da geoestatística e pode ser considerado como o passo mais importante, porque o modelo variográfico escolhido será utilizado através de todo o processo de estimação e influirá em todos os resultados e conclusões. Desta maneira, prossegue o autor, o alcance a , é a linha divisória para a aplicação de geoestatística ou estatística clássica, e por isso o cálculo do semivariograma deveria ser feito rotineiramente para dados de campo, para garantir as hipóteses estatísticas sob as quais serão analisados.

A construção do semivariograma foi discutida por Isaaks & Srivastava (1989), sendo que, na concepção dos mesmos, quatro parâmetros básicos podem ser estabelecidos. O alcance (*range*) é a distância em que a variância da amostragem se torna aleatória, a partir da qual não há mais dependência espacial. Patamar (*sill*) é a semivariância atingida pelas amostras no platô, e pode ser equivalente à variância das amostras. Efeito pepita (*nugget*) é a porção da variância aleatória e não explicada pela amostragem. O quarto parâmetro é o modelo de equação que foi ajustado aos dados no semivariograma. Esses parâmetros podem ser inseridos em um processo de interpolação por krigagem, para a produção de superfícies contínuas de produtividade.

Os autores ainda citam que a validação cruzada é uma técnica que permite a comparação de valores estimados pelo interpolador, baseado no modelo ajustado aos dados na análise de dependência espacial, com valores reais. Os resultados da validação cruzada podem ser avaliados com ferramentas da estatística como, por exemplo, a análise de correlação linear, como índice qualitativo. A qualidade da informação torna-se fator primordial quando os mapas formam a base de dados que sustentará o processo de tomada de decisão.

Para a confecção do semivariograma, todos os dados são pareados em todas as combinações possíveis e agrupados dentro de classes (*lags*) de distâncias e direções aproximadamente iguais. Esse processo é efetuado dentro do módulo “análise do semivariograma”, onde são construídos os semivariogramas experimentais (Deutsch & Journel, 1998), sendo neles verificada a possibilidade das variáveis estudadas possuírem a propriedade de anisotropia, que é a não homogeneidade das distribuições das variâncias, em ângulos diferentes no espaço (ENGLUND & SPARKS, 1988).

Quando o semivariograma é isotrópico, apenas um (o unidirecional) é suficiente para descrever a variabilidade da variável no campo. Automaticamente, modelos teóricos de semivariogramas são superpostos à seqüência de pontos obtidos no variograma experimental, de modo que a curva que melhor se ajustou aos pontos obtidos representasse a magnitude, alcance e intensidade da variabilidade espacial da variável estudada (ZIMBACK, 2003).

Descrevendo os tipos de semivariogramas existentes, Guerra (1988) argumenta que ocorrem três tipos de semivariogramas: observado ou experimental (obtido a partir das amostras colhidas no campo), verdadeiro (real, mas desconhecido) e teórico (de referência, utilizado para o ajuste do modelo).

Estudos mostram que a definição teórica dessas ferramentas é baseada na teoria das funções aleatórias (Journel & Huijbregts, 1978; Isaaks & Srivastava, 1989 e Braga, 1990), que, de acordo com Zimback (2003), apresenta a estimativa experimental dessas estatísticas. Supondo que $Z_{(x)}$ represente o valor da variável para o local x , onde x é o vetor (x,y) e $Z_{(x+h)}$ representa o valor da mesma variável para alguma distância h (ou *lag*), em qualquer direção. O variograma resume a continuidade espacial para todos os parâmetros (comparação de dois valores) e para todos os h significativos.

A dependência espacial é analisada, segundo Isaaks & Srivastava (1989), pela expressão:

$$\gamma_{(h)} = \frac{1}{2N} \sum [Z_{(x_i)} - Z_{(x_i+h)}]^2$$

No desdobramento desta expressão, os autores elucidam que:

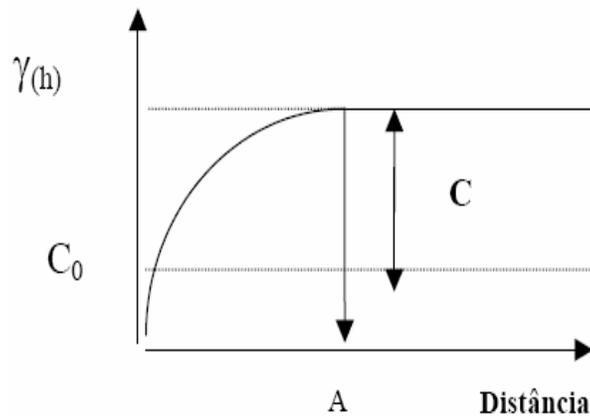
$\gamma_{(h)}$ - é o valor do semivariograma estimado para a distância h ;

x - é a medida de posição;

h - é a distância entre medições.

Dentre os modelos teóricos dos semivariogramas sobressaem o esférico, o exponencial, o gaussiano e os lineares com e sem patamar (GUERRA, 1988).

Zimback (2003) explica que a análise e o ajuste do semivariograma experimental a um teórico denomina-se análise estrutural, que pode ser representado pela Figura1, estruturada pela autora:



Fonte: Zimback (2003)

Figura 1 – Gráfico da análise estrutural do semivariograma.

Desenvolvendo a interpretação da figura, a autora explica que:

$\gamma_{(h)}$ = Semivariância;

C_0 = Efeito Pepita;

C = Semivariância Estrutural ou Espacial;

$C+C_0$ = Patamar ou Soleira;

A = Alcance.

Na expressão de Zimback (2003), o efeito pepita (C_0), corresponde à cota do ponto onde o semivariograma corta o eixo das ordenadas (cota zero). Segundo Valente (1989), este ponto reflete as microestruturas não captadas pela menor escala da amostragem, erros de amostragem, de análises laboratoriais, etc.

O alcance (A) corresponde ao conceito da zona de influência ou de dependência espacial de uma amostra, marcando a distância a partir da qual as amostras tornam-se independentes (GUERRA, 1988).

O patamar (C+Co) corresponde ao ponto onde toda semivariância da amostra é de influência aleatória, correspondendo à variância total (s^2), obtida pela estatística clássica (TRAGMAR *et al.*, 1985).

Segundo o mesmo autor, quando o efeito pepita (Co) for aproximadamente igual ao patamar (C+Co), denomina-se efeito pepita puro, demonstrando que a amostra não recebe influência espacial.

Ainda, Tragmar *et al.* (1985) sugeriram o uso da % da semivariância do efeito pepita para mensurar a dependência espacial, sendo que Cambardella *et al.* (1994), propuseram os seguintes intervalos para avaliar a % da semivariância do efeito pepita: $\leq 25\%$ - forte dependência espacial; entre 25% e 75% - moderada dependência espacial e $\geq 75\%$ - fraca dependência espacial, denominado de IDE (Índice de Dependência Espacial), dado pela expressão:

$$IDE = \frac{C_0}{C + C_0} \cdot 100$$

Zimback (2001) propôs a inversão dos fatores, como:

$$IDE = \frac{C}{C + C_0} \cdot 100$$

Determinando dessa forma segundo explicação da autora, a dependência espacial fraca para valores $\leq 25\%$; entre 25% e 75%, moderada e $\geq 75\%$ dependência forte.

Na visão de Carter (1995), a habilidade dos variogramas em separar a variância de amostras entre componentes espaciais e casuais permite avaliações aperfeiçoadas de espaçamento e quantidade de amostragem de solo, além do melhor visão da continuidade destas características.

Zimback (2003) finaliza concluindo que a sensibilidade dos semivariogramas, para detectar a variabilidade espacial das amostras, está diretamente ligada ao melhor ajuste dos dados experimentais ao modelo teórico do variograma. E são inúmeros os autores que descrevem as interferências sobre a escolha do modelo teórico e ajuste desse modelo ao semivariograma experimental (AHN *ET. AL.*, 1999; SHAPIRO & BOTHA, 1991; GOYWAY & HARTFORD, 1996; TSEGAYE & HILL, 1998), entre outros.

2.4 Produtividade da Soja no RS

A soja ponteiá soberana no horizonte do agronegócio nacional. Ela ocupa, no Brasil Moderno, o lugar que já foi da cana de açúcar, no Brasil Colônia e do café, no Brasil Império/República. Um, de cada quatro dólares exportados pelo complexo agroindustrial brasileiro provém da soja, que promete exportar ainda mais em 2004: US\$ 10,8 bilhões ou 14,2% do total a ser exportado pelo País. A expectativa de plantio para 2004/05 é superior a 23 milhões de hectares e a colheita estimada, de 65 milhões de toneladas; 30% maior que as 50 milhões de toneladas colhidas em 2004, que resultou prejudicada em 20% pela Ferrugem Asiática na Região Centro Oeste e pela estiagem na Região Sul (AGNOL, 2003).

A agricultura no estado do Rio Grande do Sul é caracterizada pela predominância de culturas de primavera-verão, as quais respondem por mais de 90% da produção total de grãos do Estado. Soja e milho são as culturas de maior expressão; juntas representam 70% da área cultivada e mais de 60% das produções total de grãos do Rio Grande do Sul (FONTANA *et. al.*, 2001).

De acordo com os mesmos autores, estas culturas são predominantemente cultivadas em condições de sequeiro, ou seja, sem suplementação hídrica por irrigação, o que determina grande variabilidade interanual da produção dessas culturas.

Agnol (2003) enfatiza que em menos de meio século, a soja passou de uma cultura marginal de pequenos produtores do interior gaúcho, para a principal lavoura do País. Originária da China, a soja foi introduzida no Brasil em 1882 e setenta anos depois se converteu num verdadeiro “negócio da China” para o Brasil. Em 2003, ela respondeu pelo ingresso direto de US\$ 8,4 bilhões ou 12% de tudo o que o Brasil exportou. Mas, mais importante do que os ingressos diretos provenientes das exportações são os benefícios indiretos derivados da sua extensa cadeia produtiva, que inclui a indústria de máquinas e insumos, antes da porteira e o complexo agroindustrial de transporte, armazenamento e processamento, depois da porteira. O valor monetário

desses benefícios indiretos, representados, principalmente, por empregos no campo e na cidade, é várias vezes maior que o montante auferido pelas exportações.

Ainda segundo o mesmo autor, apesar da atual liderança no mercado das commodities agrícolas brasileiras, a soja é uma cultura relativamente nova no Brasil. O primeiro registro do seu cultivo comercial data de 1914, no município de Santa Rosa, Rio Grande do Sul (RS). Foi somente a partir dos anos 40 que ela adquiriu alguma importância econômica. O primeiro dado estatístico nacional de sua produção é de 1941 (área cultivada de 640 hectares, produção de 450 toneladas e rendimento de 703 kg/ha). Nesse mesmo ano instalou-se a primeira indústria processadora de soja do País (Santa Rosa, RS). Em 1949, com produção de 25 mil toneladas, o Brasil figurou pela primeira vez nas estatísticas internacionais.

Melo *et. al.* (2003) são enfáticos ao afirmar que a soja (*Glycine max* (L.)Merrill) é uma leguminosa que tem grande importância econômica e social no Rio Grande do Sul. Os autores citam que, segundo dados da Emater-RS (2002), o estado é um dos maiores produtores e exportadores de grãos do Brasil, tendo no ano agrícola 2000/2001 produzido 6.935 mil toneladas de soja, com um rendimento médio de 2.339 kg/ha. Neste contexto, a previsão de safra da soja no Estado é fundamental à tomada de decisões para o planejamento, definição de prioridades, estabelecimento da política de preços e para o manejo de estoques reguladores do Governo Federal e do parque instalado para o armazenamento da produção. Na opinião destes autores, o desenvolvimento de métodos que permitam uma obtenção rápida e objetiva das estimativas de rendimento da cultura de soja é, portanto, de grande importância.

Bisotto & Farias (2001) esclarecem que a soja é a principal espécie em área cultivada no Rio Grande do Sul (RS), com aproximadamente 3 milhões de hectares. Em média, sua produção tem sido crescente, o que está associado ao nível de tecnologia aplicado à cultura, ao emprego de materiais genéticos de melhor potencial produtivo e à crescente profissionalização dos produtores rurais. Segundo estes autores, a produtividade média nos estados produtores de soja varia de 1800 a 2400 kg /ha. No caso do RS, essa produtividade situa-se no limite inferior.

Bonato *et. al.* (2002) têm uma opinião bastante clara sobre o assunto ao colocar que a produtividade média de soja em lavouras no Rio Grande do Sul tem-se situado

entre as menores obtidas no Brasil. Entretanto, argumentam os autores, existe tecnologia com potencial para alterar esta situação.

Para Carvalho (2003), o Rio Grande do Sul, considerando o período de 1996 a 2002/2003, foi o Estado que apresentou a maior média nacional de crescimento ao ano da produtividade de soja, cerca de 5,04%. Além disso, segundo o autor, conforme dados divulgados pela Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Sul (FIERGS), as exportações gaúchas cresceram 20% de janeiro a agosto de 2003, na comparação com o mesmo período no ano anterior. Do total de US\$ 870 milhões de aumento, US\$ 218 milhões são resultados de vendas do complexo soja para o exterior, o que equivale a 25%.

Segundo Agnol (2003), o impressionante crescimento de 74 vezes da produção de soja no correr de duas décadas (206 mil toneladas, em 1960 e 15.156 mil toneladas, em 1979) ou, em outros termos, de 7.357%, se deveu, não apenas ao aumento da área cultivada (171 mil, para 8,8 milhões de hectares), mas, também, ao expressivo incremento da produtividade (1.140 kg/ha, para 1.730 kg/ha). Esse crescimento continuou acelerado e em 2003, a área plantada superou os 21 milhões de hectares e a produtividade se acercou aos 2.800 kg/ha.

Heuser (2004) cita que, segundo levantamento da EMATER-RS de 16 a 23 de março de 2004, a área colhida de soja no Rio Grande do Sul na safra 2003/04 foi de 3.896.307 hectares, 8,5% acima da área da safra anterior. Entretanto houve uma forte redução na produção da oleaginosa, em função da estiagem que atingiu o Estado desde o começo de janeiro. A produtividade média, que, na safra 2002/03, havia atingido 2.667 kg/ha, alcançou, na de 2003/04, tão-somente 1.554 kg/ha, significando uma quebra de 41,7% em relação à produtividade da colheita anterior e de 30,9% sobre as primeiras estimativas feitas pela EMATER-RS, que já previam uma sensível redução do rendimento médio em relação ao do ano anterior. Feitas as contas, a produção deve ficar em 6.054.861 toneladas, montante 36,8% menor que o da safra passada —que havia alcançado recorde de 9.579.293 toneladas — e 29% abaixo das primeiras estimativas. Em contrapartida, o preço em alta da soja deve contrabalançar, em parte, as perdas de produção.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área de estudo

3.1.1 Município de Palmeira das Missões

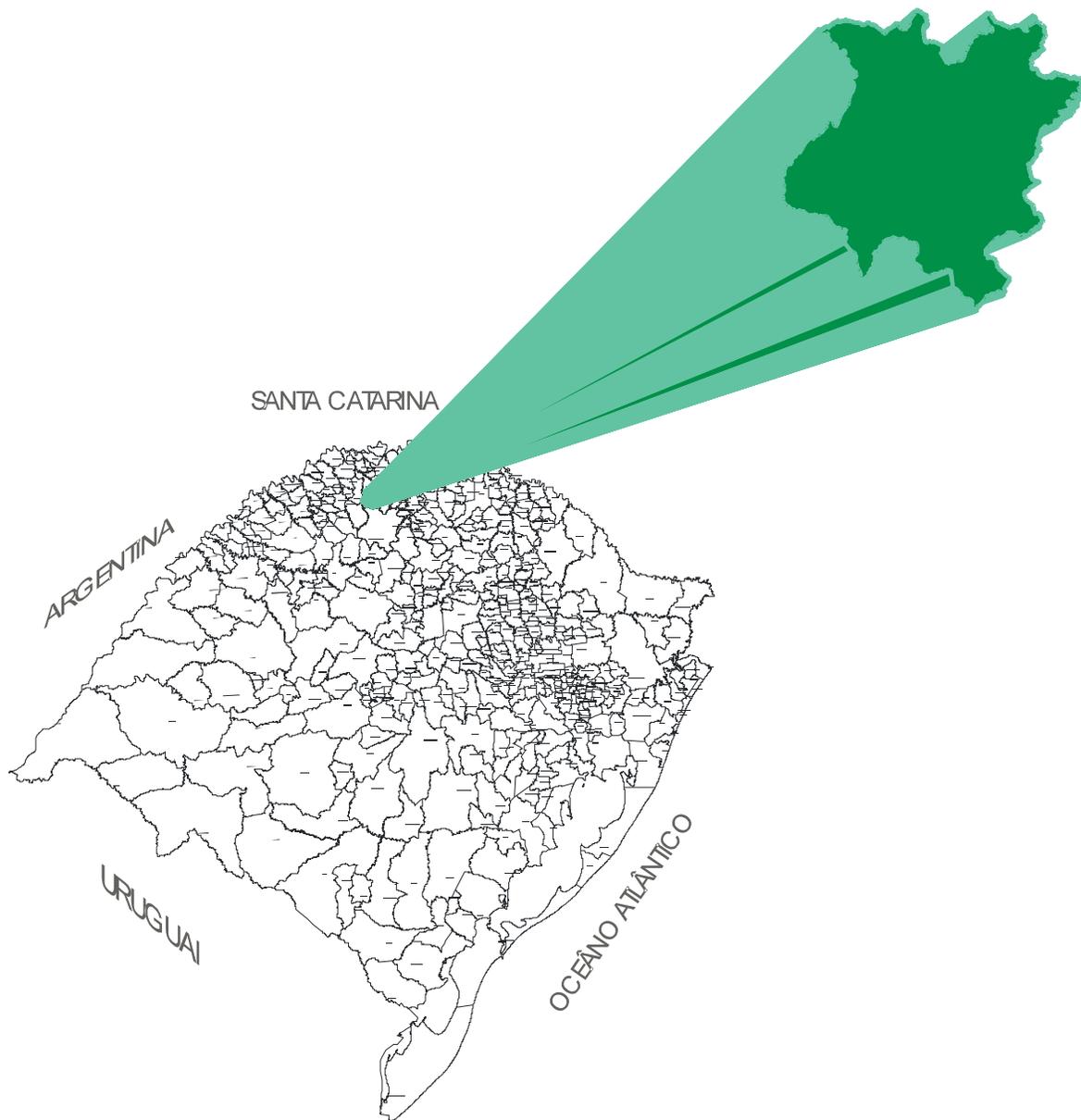


Figura 02 – Mapa da Localização em perspectiva do Município de Palmeira das Missões

3.1.2 Coxilha Colorado



Figura 03 – Imagem da Localização da Área de Estudo – Coxilha Colorado

3.2 Caracterização da área de estudo

A área de estudo, denominada Coxilha Colorado, surgiu no ano de 2000, como uma área experimental pioneira destinada à pesquisa científica em agricultura de precisão, no Estado do Rio Grande do Sul, onde são desenvolvidos estudos com a participação do Laboratório de Geomática e o Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria.

A lavoura, com uma superfície de 57,3 hectares, localiza-se no distrito de São Bento, Município de Palmeira das Missões – RS, à margem direita (sentido Palmeira das Missões – Três Passos) da BR-468, Km 15, com um georreferenciamento pontual de situação nas coordenadas 27°50'07" de latitude sul e 53°24'16" de longitude oeste (WGS-84).

A área possui altitude de aproximadamente 600 metros e encontra-se na zona de escarpo arenito-basáltico do Planalto Meridional Brasileiro, formada por Latossolo Vermelho, com profundidade média de 1,5 metros (EMBRAPA, 1999).

O sistema de cultivo plantio direto, com rotação de culturas é a técnica que foi adotada na área, em todas as ocasiões do presente trabalho.

A região possui clima do tipo Cfa de Köppen, sendo caracterizado como clima subtropical, com verões quentes e invernos frios, onde a temperatura máxima variável, nos meses de verão é superior a 28°C e, nos meses mais frios, apresenta variação entre 3 e 18°C. Possui ventos predominantes no quadrante leste e boa distribuição das chuvas em praticamente todos os meses do ano, não apresentando estação seca definida.

Apresenta índices pluviométricos anuais entre 1.500 mm a 1.750 mm, com chuvas, de origem frontal –frentes polares –, ocasionalmente formadas por frentes quentes da região.

3.3. Metodologia

Para o desenvolvimento deste trabalho, utilizou-se os dados georreferenciados das colheitas realizadas na área nos anos de 2001, 2003 e 2004, com uma colheitadeira MF-34, equipada com o sistema *FieldStar*.

A conversão, processamento, geração de mapas de produtividade, relatórios, gráficos, e demais elementos constantes neste, tiveram como base a utilização exclusiva de rotinas do Sistema CR-Campeiro 5 (GIOTTO, 2004).

Na consecução dos mapas de produtividade utilizou-se como método geoestatístico o processo de interpolação “krigagem” para gerar os modelos digitais.

3.3.1 Cenários Apresentados:

3.3.1.1 Cenário 1. – Procedimento Convencional:

É o cenário típico da avaliação empregada pelo produtor rural, quando o mesmo realiza a colheita da lavoura pelo processo convencional, isto é, sem o georreferenciamento da mesma.

Neste caso o processo de avaliação é simples e consistiu na comparação entre os dados de produção de uma e outra safra, resumindo-se então a apresentar, como elemento de comprovação ou até mesmo de eficiência e de resultados práticos de intervenções, o valor médio de produtividade de cada safra, expresso em sacas por hectare.

A partir da constatação de um incremento ou redução na produtividade, este valor foi generalizado para toda a lavoura, assumindo-se que o aumento ou diminuição foi uniforme na extensão total da área cultivada.

3.3.1.2. Cenário 2 - Mapas de Colheita (Produtividade)

Este cenário surgiu a partir da colheita georreferenciada, isto é, com o emprego de Colheitadeira equipada com sensor de rendimento e GPS, foram obtidos a intervalos de tempo pré-fixados, valores de produtividade pontual à medida que a máquina realizou o processo de colheita. Findo o mesmo, criou-se um arquivo destes pontos, com a informação seqüencial do posicionamento dos mesmos (latitude, longitude e altitude) com os respectivos valores de produção por unidade de área (ha).

Com os dados da colheita, foram gerados os mapas de produtividade (colheita), sendo que os mesmos têm como objetivo a apresentação da variabilidade da produção, e desta forma foram considerados como um “retrato” da situação atual, cabendo ao produtor entender ou conhecer as causas ou fatores que geraram a variabilidade mapeada. Ressalta-se que, para a consecução destes mapas utilizou-se como método geoestatístico, o processo de interpolação denominado “krigagem”.

No caso de análise da evolução temporal da produtividade, a mesma foi realizada em duas etapas distintas, cabendo salientar que em nenhum dos casos, a diferença de produtividade entre as safras pode ser espacializada sob a forma de mapa.

a) Análise Visual Comparativa:

Esta análise é um processo subjetivo, onde se identificou sobre os mapas de produtividade, regiões de evolução positiva ou negativa do parâmetro pesquisado.

Com já referido, em função da subjetividade, esta análise tem emprego limitado e, portanto, foi realizada somente para situação de reconhecimento, e de avaliação de macro- tendências.

b) Análise Quantitativa por classes de produtividade:

A Análise quantitativa consistiu em estabelecer um determinado número de classes de produtividade, e conhecer a sua ocorrência espacial em termos de superfície de área na lavoura. Sendo que aos mapas de produtividade, foram associadas classes de visualização, em cores diversas, com a respectiva área de ocorrência.

Estabelecendo para ambos os mapas, os mesmos critérios de visualização, foi possível avaliar em cada classe de produtividade, a variação espacial em termos de diferença de área.

3.3.1.3. Cenário 3 – Mapa da Evolução Temporal

Este cenário consistiu na geração de um mapa da diferença temporal da produtividade entre duas safras sucessivas, onde é apresentada a variabilidade espacial por intervalos de classe de diferenças de produtividade.

Para a consecução deste cenário, foi necessário dispor dos modelos de produtividade – utilizando-se o método de “krigagem” na geração destes modelos – das safras correspondentes, que é a situação do cenário dois.

Como ponto inicial de sua implementação, procedeu-se ao estabelecimento de uma malha de células (rasterização) sobre a área da lavoura, e o cálculo da produtividade média de cada célula. Assim a cada ponto central das células foi atribuído o valor da produtividade e, como estes pontos são localizados geograficamente através de suas coordenadas de latitude e longitude, tornou-se possível, portanto a espacialização de elementos vinculados aos mesmos, como a diferença de produtividade, que é o elemento considerado no caso presente.

Embora não exista uma regra quanto ao número de células que devem constituir a malha, inferiu-se que quanto maior a sua densidade, maior será a precisão obtida na geração do mapa da evolução temporal.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Cenário 1 – Comparação entre safras

Na safra de 2000/2001, a produtividade média de soja foi de 3.194,58 Kg/ha, enquanto que na safra 2002/2003 a soja apresentou a média de 3.320,70 kg/ha, registrando-se uma diferença positiva de 126,12 kg/ha, o que corresponde a 2,10 sacos por hectare. A interpretação desse dado não permite a inferência ou a conclusão de existência de heterogeneidade na produção em pontos localizados na área, e desta forma a conclusão básica desta situação é que esta diferença positiva (média) repete-se em qualquer local da lavoura.

A safra 2003/2004 apresentou um rendimento médio de soja de 2.217,7 Kg/ha. Comparando com a safra anterior, observa-se uma significativa redução de 1.103Kg/ha (18,38 sacos/ha). Redução esta atribuída a fatores climáticos ocorrentes nesta safra, a qual sofreu uma estiagem prolongada, o que proporcionou redução nos níveis de produtividade. Entretanto por esta análise comparativa se tem unicamente o quantitativo por área em termos da redução.

4.2. Cenário 2 - Análise de Modelos e Mapas de Produtividade das Colheitas de 2001, 2003 e 2004

A Tabela 01 apresenta os elementos relativos às colheitas de soja em 2001, 2003 e 2004, expressos em kg/ha.

Tabela 01– Elementos dos Modelos de Produtividade de Soja 2001/2003/2004

Ano	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	CV %
2001	3.194,58	2.428,06	3653,59	212,07	6,64
2003	3.320,70	2.479,22	4506,85	325,47	9,80
2004	2.217,70	1.007,81	3390,76	469,70	21,84

Pelo exposto na Tabela 01, verifica-se que em 2003 houve um incremento na produtividade média da área em relação à colheita de 2001, e normalmente esta diferença, conforme visto no cenário um, é o único indicador que o produtor toma para expressar a variabilidade temporal da produção em uma determinada área. Entretanto, com os dados georreferenciados das colheitas, observa-se que este incremento não ocorreu de forma homogênea em toda a superfície da lavoura, conforme se pode constatar pela amplitude de produção, e pela própria variabilidade espacial da produtividade por unidade de área em cada época, a qual se verifica nos respectivos mapas de colheita (Figura 04).

4.2.1 Análise 2001-2003

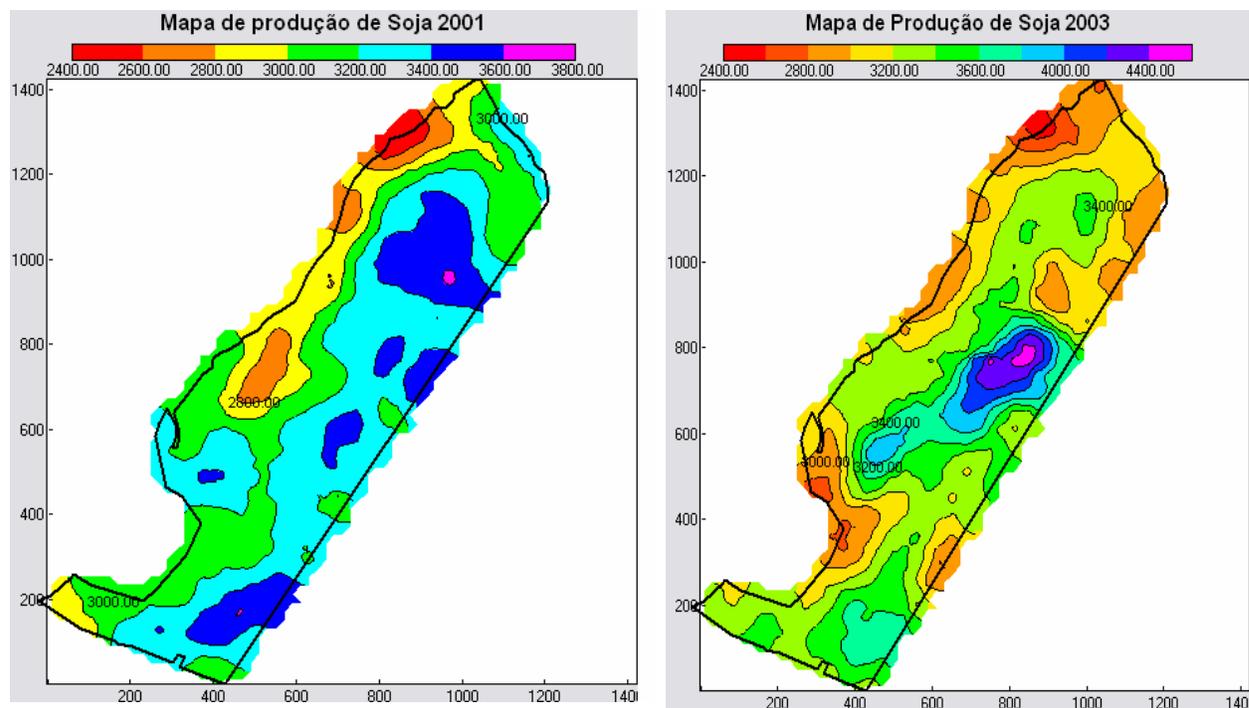


Figura 04 – Mapas de Produtividade de Soja 2001 e 2003.

Em uma análise visual sobre ambos os mapas, percebe-se claramente que a colheita de 2003 apresentou uma maior variabilidade. Expressando-se estes mapas, de acordo com a superfície ocupada por cada classe, foi possível avaliar quantitativamente a diferença de área entre as duas épocas, conforme é mostrado na Tabela 02.

Tabela 02 – Distribuição da área da lavoura por classes de produtividade 2001/2003

Classes (kg/ha)	2001		2003		Diferença (ha)
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	
2400 – 2600	0,51	0,89	0,17	0,30	0,34
2600 – 2800	2,66	4,64	1,23	2,15	1,43
2800 – 3000	6,87	11,99	7,20	12,57	-0,33
3000 - 3200	15,81	27,59	11,79	20,58	4,02
3200 – 3400	22,77	39,74	18,29	31,92	4,48
3400 - 3600	8,58	14,97	8,95	15,62	-0,37
3600 – 3800	0,10	0,17	5,05	8,81	-4,95
3800 – 4000	0	0	2,13	3,72	-2,13
4000 – 4200	0	0	1,22	2,13	-1,22
4200 – 4400	0	0	1,06	1,85	-1,06
4400 – 4600	0	0	0,22	0,38	-0,22

Pelos dados referentes às duas colheitas, verificou-se que houve uma alteração na distribuição espacial da produtividade média por unidade de área, entre as duas safras, e que esta alteração ocorreu em todas as classes de produtividade, entretanto a limitação que se impõe nesta situação de análise, é a impossibilidade de identificação da ocorrência espacial sobre a área da lavoura, destas diferenças de áreas, que por sua vez expressam as diferentes classes de produtividade.

4.2.2 Análise 2003-2004

Pelo disposto na Tabela 01, em função da estiagem registrada no ano, a safra 2004 apresentou índices de produtividade inferiores a 2003. Entretanto, verifica-se, através do mapa exposto na Figura 05, que a variabilidade de produção foi diversa na área da lavoura, apresentando valores de 1.000 Kg/ha até 3.000 Kg/ha.

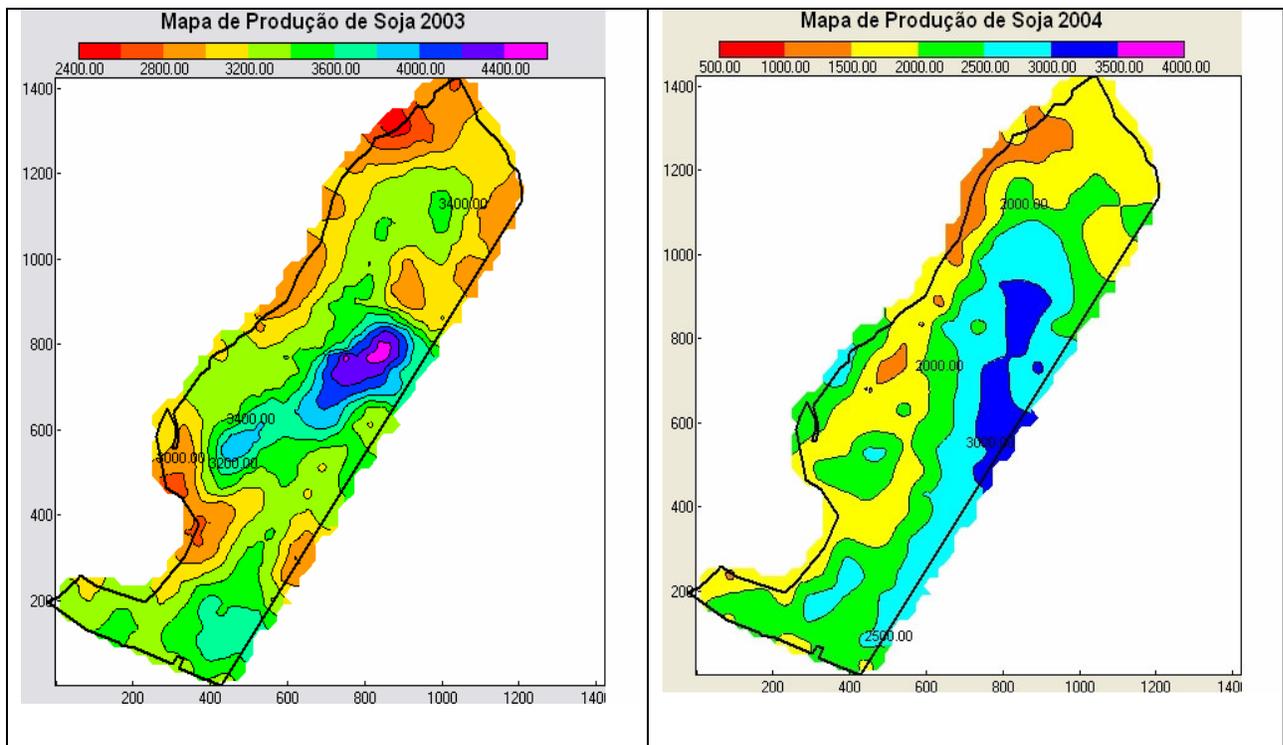


Figura 05 – Mapa da Produtividade de Soja 2003 e 2004

A análise visual comparativa com a colheita 2003 mostra que esta tem uma maior variabilidade com maiores índices de produtividade por unidade de área, como mostra a Tabela 03.

**Tabela 03– Distribuição da área da lavoura por classes de produtividade
2003/2004**

Classes (kg/ha)	2003		2004		Diferença(ha)
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	
1000 – 1200	0	0	0,13	0,23	-0,13
1200 – 1400	0	0	1,5	2,36	-1,35
1400 – 1600	0	0	3,08	5,38	-3,08
1600 –1800	0	0	6,45	11,26	-6,45
1800 – 2000	0	0	10,81	18,86	-10,81
2000 – 2200	0	0	8,73	15,23	-8,73
2200 – 2400	0	0	6,80	11,86	-6,80
2400 – 2600	0,17	0,30	6,25	10,91	-6,08
2600 – 2800	1,23	2,15	5,55	9,68	-4,32
2800 – 3000	7,20	12,57	4,61	8,05	2,59
3000 – 3200	11,79	20,58	2,94	5,13	8,85
3200 – 3400	18,29	31,92	0,61	1,06	17,68
3400 – 3600	8,95	15,62	0	0	8,95
3600 – 3800	5,05	8,81	0	0	5,05
3800 – 4000	2,13	3,72	0	0	2,13
4000 – 4200	1,22	2,13	0	0	1,22
4200 – 4400	1,06	1,85	0	0	1,06
4400 – 4600	0,22	0,38	0	0	0,22

Os dados apresentados na Tabela 03 mostram como foi significativa a redução da produção em 2004. Cerca de 18 classes de produtividade de 200 kg/ha são apresentados, mostrando que a diferença de produtividade situou-se entre 1.000 Kg/ha a 4.000 Kg/ha nas duas safras; entretanto, como já discutido na análise 2003/2001, não é possível perceber-se a variação horizontal desta diferença apresentada.

4.3. Cenário 3 - Análise Espacial da Evolução Temporal da Produtividade

4.3.1 Análise 2001 – 2003

Para realizar este tipo de análise, dividiu-se a área em células quadradas de 200 m², sendo que para as quais, a partir dos modelos digitais de produtividade das safras 2001 e 2003, calculou-se o valor médio de produtividade para cada época.

Com este procedimento foi possível a obtenção de uma diferença localizada de produtividade (positiva ou negativa), a qual pode ser espacializada conforme a sua magnitude, desde que organizada em classes.

Na Figura 06, são mostrados os mapas da lavoura, com a malha de células, e o da distribuição espacial da diferença de produtividade entre as duas épocas consideradas.

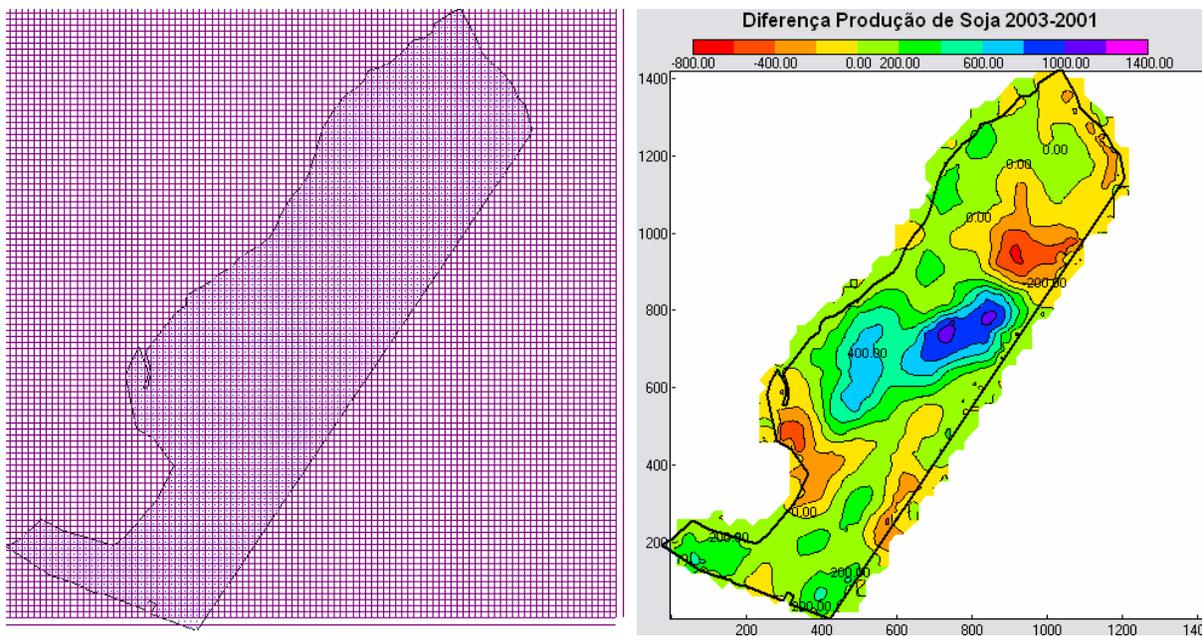


Figura 06 – Mapa das Células e Mapa da variabilidade espacial da diferença de produtividade 2003-2001

Os resultados numéricos deste procedimento foram:

Número de células: 2835

Diferença Média: 126,77 Kg/ha

Desvio padrão: 299,38 Kg/ha

Amplitude da diferença da produtividade: -636,3 Kg/ha a 1077,1 Kg/ha

A Tabela 04 apresenta o quadro de áreas das classes de diferença de produtividade, que correspondem ao mapa de distribuição espacial visualizado na Figura 06.

Tabela 04 – Quadro de áreas da distribuição espacial das diferenças de produtividade 2003-2001

Classe	L. Min. (Kg/ha)	L. Max (Kg/ha)	N°Cel.	%	Área (ha)	Média (Kg/ha)	Total (Kg/ha)
1	-800	-600	7	0,25	0,14	-615,51	-87,10
2	-600	-400	85	3,00	1,72	-486,00	-835,09
3	-400	-200	228	8,04	4,61	-276,46	-1274,24
4	-200	0	530	18,69	10,71	-86,50	-926,78
5	0	200	1055	37,21	21,33	81,66	1741,56
6	200	400	465	16,40	9,40	281,83	2649,17
7	400	600	219	7,72	4,43	492,34	2179,63
8	600	800	152	5,36	3,07	673,24	2068,67
9	800	1000	76	2,68	1,54	895,29	1375,48
10	1000	1200	18	0,63	0,36	1027,68	373,95
TOTAL							7265,24

Pela análise da Tabela 04, verifica-se que a amplitude de variação da diferença de produtividade entre as duas safras é desde aproximadamente -10 sacos/ha até + 20 sacos/ha, em locais diversos da área, e sabendo-se que a média foi de +2,1 sacos/ha, pode-se afirmar que a produção além da variabilidade espacial em cada safra, apresenta uma variabilidade espacial temporal de magnitudes diversas, as quais podem ser constatadas no mapa apresentado na Figura 06.

Estes resultados, apresentados de forma gráfica na Figura 07, mostram que a classe de diferença de 0-200 Kg/ha é a mais expressiva em termos de ocorrência espacial, com cerca de 37% da área.

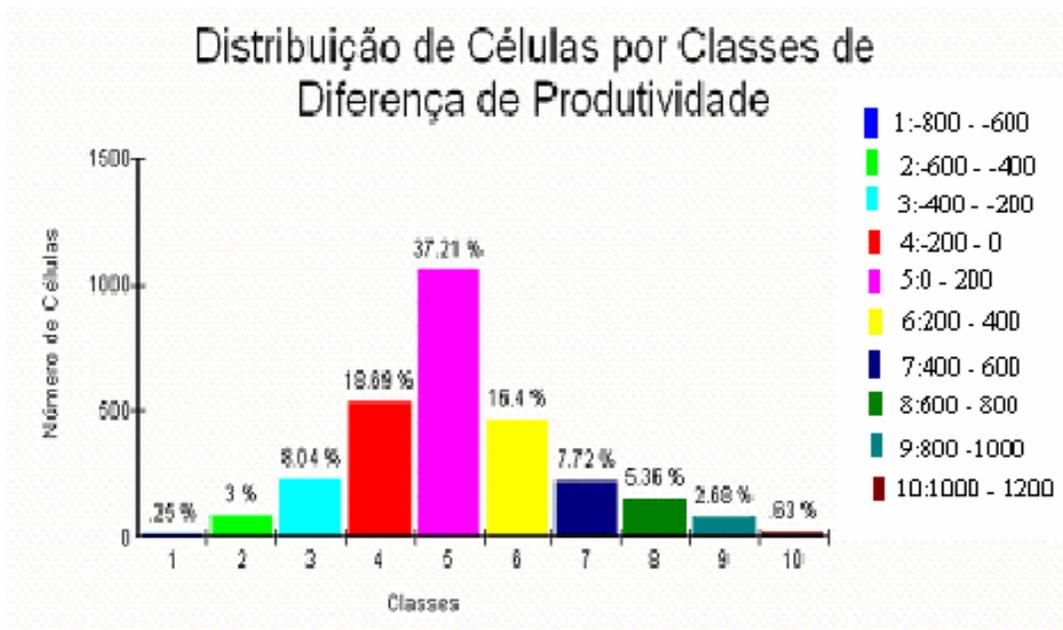


Figura 07 — Distribuição da área da lavoura por classes de diferença de produtividade 2003-2001

4.3.2 Análise 2003 – 2004

Adotando-se os mesmos procedimentos da análise anterior, dividiu-se a área em células de 200 m² e procedeu-se o cálculo do valor médio de produtividade para as safras de 2003 e 2004, gerando assim a diferença localizada de produtividade.

A Figura 08 apresenta o mapa da diferença espacial de produtividade entre 2003 e 2004.

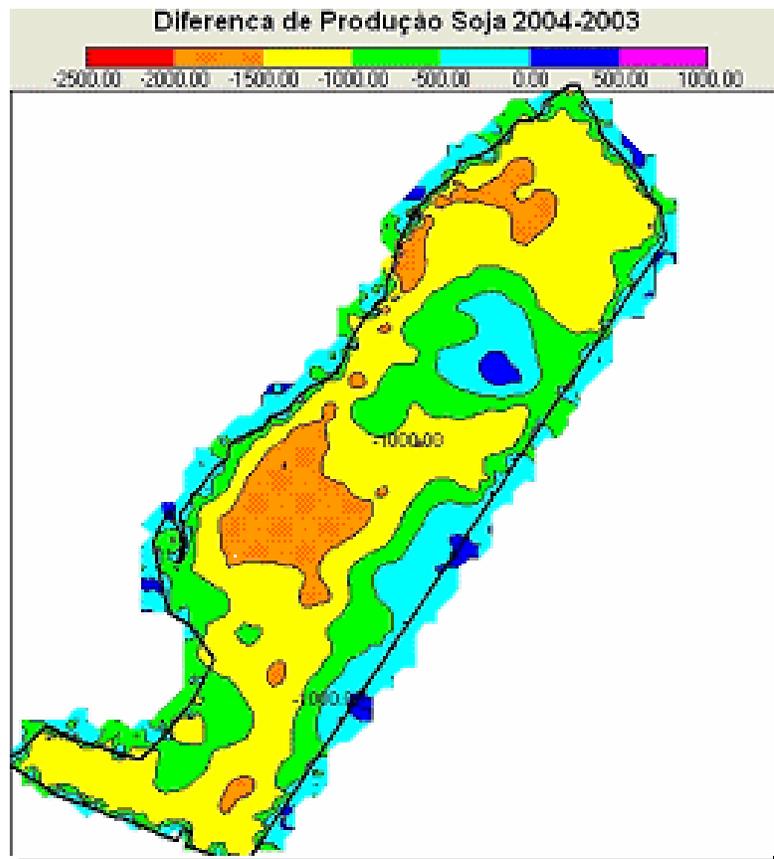


Figura 08 – Mapa da variabilidade espacial da diferença de produtividade 2004 – 2003

Os resultados numéricos deste procedimento foram:

Número de células: 2.835;

Correlação entre as safras: 0,54;

Diferença média: 1.055,14 Kg/ha;

Desvio padrão: 455,8;

Amplitude da diferença de produtividade: - 1.998,1 a 179 Kg/ha.

A Tabela 05 apresenta o quadro de áreas das classes de diferença de produtividade que corresponde ao mapa de distribuição espacial, disposto na figura anterior.

Tabela 05 – Quadro de áreas da distribuição espacial das diferenças de produtividade 2004-2003

Classe	L. Min. (Kg/ha)	L. Max (Kg/ha)	N°Cel	%	Área (ha)	Média (Kg/ha)	Total (Kg/ha)
1	2000	-1800	49	1,73	0,99	-1.874,20	-1.846,58
2	-1800	-1600	164	5,78	3,32	-1.696,78	-5.625,30
3	-1600	-1400	408	14,39	8,25	-1.486,67	-12.261,74
4	-1400	-1200	660	23,28	13,34	-1.294,06	17.265,35
5	-1200	-1000	532	18,77	10,75	-1.107,23	-11.907,65
6	-1000	-800	318	11,22	6,43	-912,83	-5.868,07
7	-800	-600	224	7,90	4,53	-710,76	-3.218,48
8	-600	-400	165	5,82	3,34	-510,56	-1.702,97
9	-400	-200	106	3,74	2,14	-317,78	-680,95
10	-200	0	50	1,76	1,01	-113,19	-114,41
11	0	200	159	5,61	3,21	9,73	31,28
						Total	-60.470,11

Análise da Distribuição de Células

Número de células : 2.835

Média : -1.055,14

Desvio padrão : 455,8

Valor máximo : 179

Valor mínimo : -1.998,1

Estes resultados, apresentados de forma gráfica na Figura 09, mostram que a classe de diferença de 1.400 – 1.200 Kg/ha é a mais expressiva em termos de ocorrência espacial, com cerca de 23% da área.

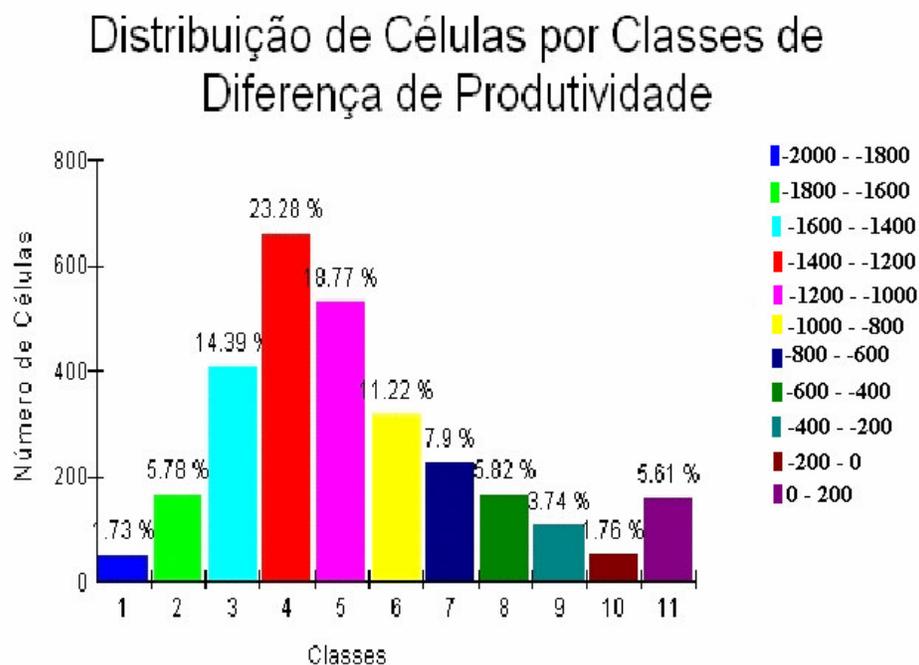


Figura 09 – Distribuição Gráfica da área da lavoura por classes de diferença de produtividade 2004-2003

CONCLUSÕES

Com base no objetivo proposto, foi possível estabelecer os três cenários de interpretação da evolução temporal da produtividade de soja, em três épocas distintas com as seguintes conclusões:

A simples comparação de dois dados de produção, de uma mesma cultura em safras distintas, não é indicador de variabilidade espacial, pois esta comparação tende a representação de um valor médio, aplicável uniformemente a toda a área da lavoura.

Com mapas de colheita de épocas distintas, e com os dados de ocorrência espacial de mesmas classes de visualização, foi possível conhecer as dimensões da variação espacial das diferenças de produtividade, mas não é possível a representação espacial sob a forma de mapa;

A representação espacial da diferença de produtividade, entre duas safras, somente é possível, com o georreferenciamento de pontos, os quais tenham como atributo o valor desta diferença, e assim sejam modelados mapas de distribuição espacial.

A geração de células sobre a área e a respectiva indexação dos valores de colheita, para cada célula, reproduz as condições da situação anterior e, conforme comprovado no presente trabalho, permite a espacialização da diferença temporal de produtividade entre duas safras agrícolas de mesma cultura.

Pelos resultados obtidos, a situação do cenário 3 – Análise Espacial da Evolução Temporal da Produtividade – é considerada como sendo a melhor situação, visto que a partir dos modelos digitais de produtividade das safras correspondentes, com o cálculo do valor de produtividade para cada época foi possível obter a diferença localizada de produtividade, a qual pode ser espacializada conforme sua magnitude desde que organizada em classes.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

ABREU, S. L. de, et al. Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas do solo, da produtividade e da qualidade de grãos de trigo em Argissolo Franco Arenoso sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.2, , mar-abr, 2003. p.275-282.

AGNOL, A. D. **Soja: o fenômeno brasileiro.** Disponível em: <http://www.agrolink.com.br/colunistas/pg_detalhe_coluna.asp?Cod=851>

AHN, C. W.; BAUGARDNER, M. F.; BIEHL, L. L. Delineation of soil variability using geostatistics and fuzzy clustering analysis of hyperspectral. **Soil Science of America Journal**. v. 63, 1999. p. 142-150.

ALLI, M. M.; NOWATZKI, E. A.; MYERS, D. E. **Probabilistic analysis of collapsing soil by indicator kriging.** Math. Geol., v. 22, 1990. p. 15-38.

ANTUNIASSI, U. R. Agricultura de precisão: aplicação localizada de agrotóxicos. *In.*: GUEDES, I. V. C.; DORNELES, S. H. B. (Orgs.) **Tecnologia e segurança na aplicação de agrotóxicos- novas tecnologias.** Santa Maria: Departamento de Defesa Fitossanitária; Sociedade4 de Agronomia de Santa Maria, 1998. p. 53-63.

ASCE. Review of geostatistics in geohydrology. I: Basics concepts. **Journal of Hydraulic Engineering**, New York, v.116, n.5, 1990. p.612-632.

BALASTREIRE, L. A. Estudo de caso, uma pesquisa brasileira em agricultura de precisão. *In.*: SILVA, F. M.; BORGES, P. H. de M. **Mecanização e agricultura de precisão.** Lavras: UFLA; SBEA, 1998. p. 302-231.

BATCHELOR, B.; WHIGHAM, K.; DEWITT, J.; *et. al.* **Precision agriculture:** introduction to precision agriculture. Iowa Cooperative Extension, 1997. 04p. Disponível em: <<http://www.extension.instate.edu/Pages/precisionag/prec-ag-pdf>> Acesso em: 31 mar. 2004.

BISOTTO, V.; FARIAS, A.D. Algumas considerações sobre a cultura da soja. *In.*: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL. 29., 2001. Porto Alegre.

Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 2001/2002. Porto Alegre: FEPAGRO, 2001. p.7-17.

BLACKMORE, B. S. **As information system for precision farming.** Silsoe. Inglaterra: The Centre for Precision Farming. Cranfield University, 1996. 109p.

BLACKMORE, B. S; LARSCHEID, G. Strategies for managing variability. *In.:* EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1997, 1., Warwick, 1997. **Proceedings...** London: BIOS Scientific, 1997. p. 851-859.

BONATO, E. R.; BERTAGNILLI, P. F.; LINHARES, A. G.; COSTAMILAN, L. M.; KIIHL, R. A. de S.; ALMEIDA, L. A. BRS 153: cultivar de soja com boa adaptação ao sistema plantio direto no Rio Grande do Sul **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 08, ago. 2002. p. 1201-1204.

BRAGA, L. P. V. **Geoestatística e aplicações.** Departamento de Métodos estatísticos, UFRJ, 1990. 36p.

BURGESS, T. M.; WEBSTER, R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties, 1. The semi-variogram and punctual kriging. **Soil Science of America Journal.** v. 31, 1980. p. 315-331.

CAMBARDELLA, C. A., et al. Field-scale variability of soil properties in Central Yowa soils. **Soil Science of America Journal.** v. 58, 1994. p. 1501-1511.

CAMPO, P. do **Agricultura de precisão: inovações do campo.** Piracicaba. 2000. Disponível em: <http://www.portaldocampo.com.br/inovacoes/agric_precisao03.htm> Acesso em: 26 set. 2004.

CANZIAN, E.; SARAIVA, A. M.; CUGNASCA, C. E.; *et. al.* **Projeto de um monitor de semeadora com GPS para pesquisa em agricultura de precisão.** Disponível em: <<http://www.pcs.usp.br/~laa/projetos.html>> Acesso em 10 dez. 2004.

CAPELLI, N. I. **Agricultura de precisão- nova tecnologia para o processo produtivo.** Campinas: LIE/DMAQAG/EEAGRI/UNICAMP, 1999. 87p.

CARTER, M. R. Spatial variability of porosity under reduced tillage in a homo-ferric

podzol. **Canadian Journal Soil Science**. V. 75, 1995. p. 149-152.

CARVALHO, V. F. Mercado da soja transgênica. São Paulo. **Jornal O Estado de São Paulo**. Publicação de 01 mar. 2003.

CLARCK, R. L.; MCGUCKIN, R. L. Variable rate application technology: na overview. *In.*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION FARMING, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings....** Madision: ASA, CSSA, SSSA, 1996. p. 855-862.

CREMONINI, L. C. M. **Acurácia de mapas altimétricos obtidos com DGPS na colheita de cereais**. Piracicaba, SP. 2002. 61f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2002.

GRESSIE, N. Geostatistic. **The American Statistician**, v.43, n.4, 1989. p.197-202.

DAVIS, G.; CASADY, W.; MASSEY, R. Precicion Agriculture: as introduction. **Water quality**. University of Missouri-Sistem. 1998. p. 08. Disponível em: <<http://www.fse.missouri.edu/mpac/pubs/wq0450.pdf>> Acesso em: 28 ago. 2004.

DEUTSCH, C. V.; JOURNEL, A. G. **GSLIB**. Geoestatistical software library. Oxford Univ. Press, New York, 1998.

DINIZ, P.S.R. **Adaptive Filtering: Algorithms and Practical Implementation**. Kluwer Academic Press, Boston, MA, USA, 1997.

DOERGE. T. A. **Journal of Production Agriculture**. Johnston, IA 50131. USA, 1999.

EMATER-RS **Informativo conjuntural**. Porto Alegre, RS, 2002. Disponível em: <<http://www.emater.tche.br>>. Acesso em: 25 de março de 2004.

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. Sete Lagoas-MG, 1997. p. 03-17.

ENGLUND, E. J.; SPARKS, A. **Geo-EAS**. Users's guide. Las Vegas: USEMS, 1988. sp.

FARIAS, P. R. S.; NOCITI, L. A. S.; BARBOSA, J. C.; PERECIN, D. Agricultura de Precisão: mapeamento da produtividade em pomares cítricos usando geoestatística. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 25, n. 2, ago. 2003. p. 235-241.

FARIAS, R. N. S.; ALBUQUERQUE JUNIOR, F. S. Uso da imagem spot no auxílio do estudo geoestatístico para caracterização do subsolo do município de Campos dos Goytacazes *In*. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto XI, 2003, **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 839-846.

FARIAS, P. R. S.; BARBOSA, J.C.; VIEIRA, S.R.; SÁNCHEZ-VILA, X.; FERRAZ, L.C.C.B. Geostatistical analysis of the spatial distribution of *Rotylenchulus reniformis* on cotton cultivated in crop rotation. **Russian Journal of Nematology**, v.10, 2002. p.01-09.

FATORGIS. **Agricultura de precisão: a tecnologia do GIS/GPS chega às fazendas. Curitiba, 1998.** Disponível em:<<http://www.fatorgis.com>> Acesso em: 16 jun. 2004.

FOLEGATTI, M. V. **Estabilidade temporal e variabilidade especial da umidade e do armazenamento de água em solo siltoso.** 1996. 96f. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A.; BERGMASCHI, H.; MELLO, R. W. Modelo de estimativa de rendimento de soja no Rio Grande do Sul. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 03, mar. 2001. p. 399-403.

FREITAS, J.G.; MOLIN, J. P.; MARIA, I. C.; CANTARELLA, H.; DUARTE, A. P. Componente da produtividade de soja, visando obter parâmetro para a agricultura de precisão. *In*: BALASTREIRE, L. A. (Ed.). **O estado da arte da agricultura de precisão.** Piracicaba, 2000. p.144-154.

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. 510, 1999. p.12-17.

GIOTTO E.; ROBAINA A. D.; SULZBACH L. **A agricultura de precisão com o Sistema CR-Campeiro 5,** FATEC/UFSM, 2000, 330p.

GOTWAY, C. A.; FERGUSON, R. B.; HERGERT, G. W.; PETERSON, T. A. Comparison of kriging and inverse-distance methods for mapping soil parameters. **Soil Science of American Journal.** v. 60, 1996. p.1237-1247.

GUERRA, P. A. G. **Geoestatística operacional**. Brasília: MMA/DNPM, 1988. 145p.

HANEKLAUS, S. et al. Routines for efficient yield mapping. *In*: International Conference on Precision Agriculture, 5, Madison. **Proceedings...**Minneapolis: ASAE, 2000. CD-Rom

HEUSER, S. E. **Soja no RS: produção em queda e preço em alta**. Governo do Estado do RS, Secretaria da Coordenação e Planejamento, Fundação de Economia e Estatística. Ano 13. n. 04. abr. 2004.

HOEKSEMA, R. J. *et al.* Cokriging model for estimation of water table elevation. **Water Resource Research**, v.25, n.3, 1989. p.429-438.

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA; R.M. **Applied geostatistics**. 1. ed. Oxford: Oxford University Press, 1989. 561p.

JOURNEL, A.G.; HUIJBREGTS, C. J. **Mining geostatistics**. London: Academic, 1978. 600p.

JOURNEL, A.G. **Geostatistic for environmental sciences**. Las Vegas: Report of United States Environmental Protection Agency, 1988.

_____. **Constrained interpolation and qualitative information** –The soft kriging approach. *Mathematical geology*, v. 18, 1986. p. 269-285.

JUERSCHIK, P.; GIEBEL, A. Processing of point data from combine harvesters for precision farming. *In*: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2., Denmark, 1999. **Precision agriculture'99**. Denmark: BIOS Scientific Publishers, v.1, 1999. p. 297-307.

LAMPARELLI, R. A. C.; ROCHA, J. V.; BORGHI, E. **Geoprocessamento e agricultura de precisão: fundamentos e aplicações**. Guaíba: Agropecuária, 2001. 118p.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo, Ed. UNESP, 1998. 226p.

LEE, I.K; WHITE W.; INCLES, O.G. **Geotechnical engineering**. Boston: Pitman, 1983. 508p.

LEENAERS, H.; OHX, J. P.; BURROUGH, P. A. Comparison of spatial methods for mapping floodplain soil pollution. **Catena**, v. 17, 1990. p. 535-550.

MANZATTO, C. V.; BHERING, S. B.; SIMÕES, M. **Agricultura de precisão**: propostas e ações da Embrapa solos. EMBRAPA Solos, 1999 Disponível em:< <http://www.cnps.embrapa.br/search/pesqs/proj01.html>> Acesso em 18.jan.2005.

MALTA, J. D. V. da. **Variabilidade espacial de indicadores da compactação de terra roxa estruturada, sob dois sistemas de preparo, cultivada com feijão (*Phaseolus vulgaris*) irrigado**. Piracicaba, SP. 1997. 73f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

MCBRATNEY, A. B.; HART, G. A.; MCGARRY, D. The use of region partitioning to improve the representation of geostatistically mapped soil attributes. **Soil Science of America Journal**. v.42, 1991. p. 513-532.

MELO, R. W. de; FONTANA, d. C.; BERLATO, M. A. Modelo meteorológico-espectral de estimativa de rendimento da soja para o estado do Rio Grande do Sul. *In.*: XI SBSR, Belo Horizonte: INPE, 2003. **Anais...**p.173-179.

MENEGATTI, L. A. A. **Metodologia para identificação, caracterização e remoção de erros em mapas de produtividade**. Piracicaba, SP. 2002. 84f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2002.

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, Campina Grande, PB, DEAg/UFCG, 2004. p.126-134.

MILLER, W.; SUPALLA, R. **Precision farming in Nebraska**: a status report., 1996. Disponível em:< <http://ianrwww.unl.edu/pubs/farmmgmt/nf305.htm>> Acesso em 20 dez. 2004.

MIRANDA, E. E. De. **Informática brasileira em análise**. Quem precisa de agricultura de precisão?. EMBRAPA Monitoramento por Satélite. Disponível em: <http://www.cesar.org.br/analise/n_20/artigo_20.html> Acesso em: 13 nov. 2003.

MOLIN, J. P. Geração e interpretação de mapas de produtividade para agricultura de

precisão. *In*: BORÉM *et. al.* **Agricultura de precisão** Viçosa: UFV, 2000. p. 237-258.

ORTIZ, J. L. **Emprego do geoprocessamento no estudo da relação entre potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e relevo**. Piracicaba, SP. 2003. 205f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

PECZE, Z.; NEMÉNYI, M.; KISS, E.; PETRÓCZKI, F. Investigation of the accuracy of the RDS yield mapping system. *In*.: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2., Denmark, 1999. **Programme abstracts (poster session 2) list of exhibitors**. Denmark: BIOS Scientific Publishers, 1999. p. 50.

PARKIN, C. S.; BLACKMORE, B. S. **A precision farming approach to the application of agrochemicals**. 1995. p. 07. British Association for Advancement of Science Meeting. University of Newcastle-upon-Tyne; September 12th, 1995. p. 01-07.

QUEIROZ, D. M. de; DIAS, G. P.; MANTOVANI, E. C. Agricultura de precisão na produção de grãos. *In*.: BORÉM, A. B. et al. **Agricultura de precisão**. Viçosa: UFV, 2000. p. 01-42.

REETZ, H. F. Jr; FIXEN, P. E. Economic Analysis of Site-Specific Nutrient Management Systems. *In*.: ROBERT, P.C., *et. al.*(Eds.). **Site Specific Management for Agricultural Systems**. Madison, WI: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 1995. p. 743 – 752.

ROSSI, R. E.; DUNGAN, J. L.; BECK, L. R. **Kriging in the shadows**: geostatistical interpolation for remote sensing. *Remote Sens. Environ.*, v.49, 1994. p. 32-40.

ROZA, D. Novidade no campo: geotecnologias renovam a agricultura. **Revista InfoGeo**, n. 11, jan./fev., 2000. p. 11-13.

SALVIANO, A. A. C. **Variabilidade de atributos do solo e de *Crotalaria juncea* em solo degradado do município de Piracicaba-SP**. 1996. 91f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

SCHIRATSUCHI, L. S. **Mapeamento da variabilidade espacial de plantas daninhas com a utilização de ferramentas da agricultura de precisão**. 2001. 96f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SCHUELLER, J. K. O estado da arte da agricultura de precisão nos Estados Unidos. *In.*: BALESTREIRE, L. A. (Ed.). **O estado da arte da agricultura de precisão no Brasil**. Piracicaba, 2000. p. 08-15.

SEARCY, S. W. Engineering systems for site-specific management: opportunities and limitations. *In.*: INTERNATIONAL MANAGEMENT FOR AGRICULTURAL SYSTEMS, 1, Madison, 1995. **Proceedings**. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1995. p. 603-611.

SHAPIRO, A.;BOTHA, J. D. Variogram fitting with a general classes os conditionally nonnegative definitive functions. **Comp. Statistical & Data Analysis**. v. 11, 1991. p. 87-96.

SILVA, E. A. A. da; OPAZO, M. A. U.; SOUZA, E. G. de; ROCHA, J. V. Comparativo na aplicação de um estimador clássico e um estimador robusto na análise de variabilidade espacial do fósforo, em um latossolo roxo. *In.*: CONGRESSO E MOSTRA DE AGROINFORMÁTICA. Ponta Grossa, PR: Fundação ABC, UNIOESTE. **Anais...** Ponta Grossa, 2000.

SOUZA, L. S. **Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo**. Porto Alegre, RS.1992. 162f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1992.

STAFFORD, J. V.; LARK, R. M.; BOLAM, H. C. Using yield maps to recognize fields into potential management unit. *In.*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4, Madison, 1999. **Proceedings...** Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1999. p. 1285-1286.

STEIN, A.; HOOGERWERF, M.; BOUMA, J. Use of soil map delineations to improve (co)kriging of point data on moisture deficits. **Geoderma**. v.43, 1998. p. 163-167.

STRAUSS, C.; CUGNASCA, C. E.; SARAIVA, A. M.; PAZ, S. M. The iso 11783 standart and is use in precision agriculture equipment. *In.*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., Minneapolis, 1998. **Proceedings...** Minnesota: ASA, CSSA, SSSA, 1998. v.2, p. 1253-1262.

STURARO, J.R. **Mapeamento geoestatístico de propriedades geológicas – geotécnicas obtidas de sondagens de simples reconhecimento**. 1994, 172p. Tese (Doutorado em Geoestatística) – Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade federal de São Carlos, São Carlos, 1994.

SULZBACH L. **Tecnologia de agricultura de precisão**: estudo de caso: integração de modelos digitais de atributos químicos do solo e modelos digitais de culturas agrícolas, Santa Maria, RS. 2003.168f Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

TRAGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. **Application of geostatistics to spatial studies of soil properties**. Advances in Agronomy. V.38, 1985. p. 45-94.

VALENTE, J.M.G.P. **Geomatématica** - lições de Geoestatística. 2 ed. Ouro Preto: Fundação Gorceix, 8v., 1989. 210p.

VAUCLIN, M. et al. The use of cokriging with limited field soil observations. **Soil Science of America Journal**, v. 47, 1983. p. 175-184.

VIEIRA, S. R.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. **Soil Science of America Journal**, v. 45, n.6, 1981. p. 1040-1048.

VIEIRA, S. R. LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do estado de São Paulo. **Bragantia**, v.54, n.2, 1995. p.405-412.

VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. *In.*: BORÉN, A.; GIÚDICE, M. P.; QUEIRÓZ, D. M.; MONTOVANI, E.C.; FERREIRA, L. R.; VALLE, F. X. R.; GOMIDE, R. L. **Agricultura de precisão**. Viçosa: Giúdice & Borén, 2000. p.93-108.

WACKERNAGEL, H. 1993 **Multivariate Geostatistics**, 2nd ed. Berlin, Germany:Springer-Verlag, 1993.

WEBER, D. D.; ENGLUND, E. J. Evaluation and comparison of interpolators. **Math. Geol.** v. 24, 1992. p. 381-391.

WEBER, D. D.; ENGLUND, E. J. Evaluation and comparison of interpolators II. **Math. Geol.** v. 26, 1994. p. 589-603.

WOLLENHAUPT, N. C.; WOLKOWSKI, R. P.; KLAYTON, M. K. Mapping soli test phosphorus for variable-rate fertilizer application. **Journal of Production Agriculture**. v. 07, 1994. p. 441-448.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise especial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**. 2001. 114f. Tese de Livre Docência (Livre Docência em Levantamento do solo e Fotopedologia), FCA/UNESP, São Paulo, 2001.

ZIMBACK, C. R. L. **Elementos de geostatística**. Botucatu: GEPAG, FCA, UNESP, 2003. 23p.

**"As adversidades despertam em nós capacidades
que, em circunstâncias favoráveis,
teriam ficado adormecidas"
(Horácio)**