

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**DETERMINAÇÃO DE UNIDADES DE MANEJO A PARTIR DE MAPAS DE
PRODUTIVIDADE NORMALIZADA E PADRONIZADA EQUIVALENTE NA
CULTURA DA SOJA**

GRAZIELI SUSZEK

**CASCADEL – PR
2007**

GRAZIELI SUSZEK

**DETERMINAÇÃO DE UNIDADES DE MANEJO A PARTIR DE MAPAS DE
PRODUTIVIDADE NORMALIZADA E PADRONIZADA EQUIVALENTE NA
CULTURA DA SOJA**

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Engenharia
Agrícola em cumprimento parcial aos
requisitos para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Agrícola, área
de concentração em Engenharia de
Sistemas Agroindustriais

Orientador: Prof^º. Dr. Eduardo Godoy
de Souza

**CASCADEL – Paraná - Brasil
Janeiro – 2007**

S966d Suszek, Grazieli
 Determinação de unidades de manejo a partir de mapas de
 produtividade normalizada e padronizada equivalente na cultura da soja. /
 Grazieli Suszek. —Cascavel, PR: UNIOESTE, 2007.
 72 f. ; 30 cm

 Orientador: Prof. Dr. Eduardo Godoy de Souza
 Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
 Bibliografia.

 1. Soja. 2. Agricultura de precisão. 3. Geoestatística. I. Souza,
 Eduardo Godoy de. II. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. III.
 Título.

CDD 21ed. 633.34
CIP – NBR 12899

Bibliotecária - Jeanine da Silva Barros - CRB-9/1362

GRAZIELI SUSZEK

**DETERMINAÇÃO DE UNIDADES DE MANEJO A PARTIR DE MAPAS DE
PRODUTIVIDADE NORMALIZADA E PADRONIZADA EQUIVALENTE NA
CULTURA DA SOJA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Sistemas Agroindustriais, aprovada pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof^o. Dr. Eduardo Godoy de Souza
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Prof^o. Dr. Raimundo Pinheiro Neto
Centro de Ciências Agrárias, UEM

Prof^o. Dr. Miguel Angel Uribe Opazo
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Prof^o. Dr. Márcio Antonio Vilas Boas
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

CASCADEL, 24 de Janeiro de 2007

*"Em tudo na vida a perfeição é finalmente atingida,
não quando nada mais existe para acrescentar,
mas quando não há mais nada para retirar."
Antoine de Saint-Exupéry*

Em especial, ao meu querido avô IRINEU DALBOSCO
Que já não faz mais parte de nossa existência, mas sei que, de onde está, sua
presença viva em minha vida me fortalece.

A DEUS e NOSSA SENHORA
Por me fazerem sentir a sua presença e vida em todos os momentos de minha
caminhada.

À minha MÃE,
Que me deu o dom mais precioso, a VIDA, e a quem sou eternamente grata
pela minha formação profissional

Ao meu PAI,
Que apesar da ausência durante muito tempo, hoje se faz mais presente em
nossas vidas.

Ao meu irmão WILLYAN SUSZEK,
meu grande amigo e companheiro, pelo apoio e auxílio.

À minha querida AVÓ,
pela presença insubstituível em todos os momentos de nossas vidas.

Aos meus tios MARI e JOÃO,
pelo apoio e incentivo em todas as minhas realizações.

Neste momento tão importante de minha escolha profissional, não poderia deixar de lembrar e agradecer a todos os que me auxiliaram ou que, às vezes, em diversos momentos, caminharam comigo.

Ao Professor doutor EDUARDO GODOY DE SOUZA que, desde 2002, me privilegia com seus ensinamentos, agradeço imensamente pelos conhecimentos científicos transmitidos, pelo estímulo à pesquisa, pela orientação, pela convivência enriquecedora e pela amizade construída;

À UNIOESTE campus de Cascavel, em especial ao Programa de Pós-Graduação e ao departamento de Máquinas Agrícolas, pela oportunidade concedida para o crescimento profissional;

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio concedido na concretização desse trabalho;

Aos professores doutores LÚCIA HELENA PEREIRA NÓBREGA, MIGUEL ANGEL URIBE OPAZO, JOAQUIM ODILOM PEREIRA, ANTONIO GABRIEL FILHO, pela amizade compartilhada, pelas valiosas sugestões e a todos os professores que contribuíram para a minha formação e enriquecimento profissional;

Ao professor mestre LAIRTON MILANI, pela paciência e pelos ensinamentos passados no decorrer deste trabalho;

Ao amigo MAURO DE LIMA, eterno companheiro, pelo apoio incondicional e por fazer seus todos os meus sonhos;

Aos amigos EURO KAVA KAILER, MORGANA SUSZEK, MÁRCIA REGINA SIQUEIRA KONOPATZKI, ADRIANA SMANHOTTO, LIANE PIACENTINI, CLÁUDIO LEONES BAZZI pela amizade, incentivo, apoio e colaboração;

Aos meus amigos e colegas, pelo apoio e amizade durante o curso e pelo auxílio no desenvolvimento desta pesquisa;

À secretária do mestrado, VERA CELITA SCHMIDT, pela ajuda.

AGRADEÇO

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1 INTRODUÇÃO	2
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Sistema de Referência (Georreferenciamento)	4
2.2 Sistema Informação Geográfica (SIG)	5
2.3 Modelo de dados e amostragem	7
2.4 Mapas temáticos	9
2.5 Variabilidade espacial	10
2.6 Análise Estatística Exploratória dos dados	11
2.7 Geoestatística	12
2.8 Interpolação dos dados e construção de mapas temáticos	16
2.8.1 Krigagem	18
2.9 Comparação de mapas temáticos	20
2.10 Unidades de Manejo	22
3 MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1 Caracterização da área de estudo	24
3.2 Amostragem e delineamento experimental	25
3.3 Análise estatística	26
3.4 Mapas de Contorno	27
3.5 Determinação das Unidades de manejo	27
3.5.1 Método da Produtividade Normalizada	28
3.5.2 Método da Produtividade Padronizada	29
3.5.3 Método da Produtividade Padronizada Equivalente	31
3.6 Comparação de mapas	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
4.1 Análise estatística descritiva	34
4.2 Análise descritiva espacial	38
4.3 Análise geoestatística	38
4.4 Mapas temáticos	41
4.5 Definição das unidades de manejo	45
5 CONCLUSÕES	50
6 SUGESTÕES	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
ANEXOS	58

LISTA DE TABELAS

página

Tabela 1	Intervalos para avaliar a porcentagem da variância espacial do efeito pepita-----	15
Tabela 2	Classificação do coeficiente de variação (CV)-----	26
Tabela 3	Classes de classificação (quatro) dos mapas de unidades de manejo a partir da produtividade normalizada (PN) e do coeficiente de variação (CV)-----	29
Tabela 4	Classes de classificação (seis) dos mapas de unidades de manejo a partir da produtividade normalizada (PN) e do coeficiente de variação (CV)-----	29
Tabela 5	Classes de classificação (nove) dos mapas de unidades de manejo a partir da produtividade padronizada (PP) e do coeficiente de variação (CV)-----	30
Tabela 6	Classes de classificação (quatro) dos mapas de unidades de manejo a partir da produtividade padronizada equivalente (PPE) e do coeficiente de variação (CV) -----	32
Tabela 7	Classes de classificação (seis) dos mapas de unidades de manejo a partir da produtividade padronizada equivalente (PPE) e do coeficiente de variação (CV) -----	32
Tabela 8	Classificação qualitativa do índice kappa (k)-----	33
Tabela 9	Resultados da análise estatística descritiva para os dados de produtividade de soja adubação localizada, para os anos de 1998 a 2002 -----	34
Tabela 10	Resultados da análise estatística descritiva para os dados de produtividade de soja adubação convencional, para os anos de 1998 a 2002-----	35
Tabela 11	Resultados do teste de normalidade para a produtividade normal (Prod), para a produtividade normalizada (PN) e para a Produtividade Padronizada Equivalente (PP) para as parcelas com adubação localizada (AL) e com adubação convencional (AC)-----	37
Tabela 12	Modelos e parâmetros dos semivariogramas para produtividade da soja com adubação localizada-----	39
Tabela 13	Modelos e parâmetros dos semivariogramas para produtividade da soja sem adubação química localizado -----	40
Tabela 14	Coeficiente de desvio relativo e índice kappa de concordância para os dados de produtividade sob as parcelas com adubação localizada (AL) e com adubação convencional (AC) -----	44
Tabela 15	Percentual de área ocupada em cada classe de classificação das unidades de manejo, para os mapas de contorno de adubação localizada e convencional-----	49
Tabela 16	Coeficiente de desvio relativo (CDR) e índice kappa de concordância para os dados agrupados em zonas de manejo para AL e AC -----	49

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1	Padrões de amostragem e interpolação.-----8
Figura 2	Semivariogramas teóricos e parâmetros de ajuste.----- 13
Figura 3	Interpolação Linear. ----- 17
Figura 4	Interpolação Não-Linear. ----- 17
Figura 5	Imagem por satélite da COODETEC. ----- 24
Figura 6	Área de pesquisa, mostrando a amostragem alinhada sistemática estratificada.----- 25
Figura 7	Boxplot para os dados de produtividade com adubação localizada. ----- 35
Figura 8	Boxplot para os dados de produtividade adubação convencional.----- 36
Figura 9	Mapas de comparação da produtividade normalizada (PN) e para a Produtividade padronizada equivalente (PP), com adubação localizada nos anos de 1998 a 2002. ----- 42
Figura 10	Mapas de comparação da produtividade normalizada (PN) e para a produtividade padronizada equivalente (PPe), com adubação convencional nos anos de 1998 a 2002. ----- 43
Figura 11	Gráfico para comparação entre os índices kappa e os CDR. ----- 45
Figura 12	Definição das Unidades de manejo em nove classes a partir dos mapas de Produtividade Padronizada equivalente (PPe) e CV utilizando adubação localizada (AL) e adubação convencional (AC). ----- 46
Figura 13	Definição das Unidades de manejo com quatro e seis classes a partir dos mapas de Produtividade Normalizada (PN) e CV para adubação localizada (AL) e adubação convencional (AC). ----- 47
Figura 14	Definição das Unidades de manejo com quatro e seis classes a partir dos mapas de Produtividade Padronizada equivalente (PPe) e CV para adubação localizada (AL) e adubação convencional (AC). ----- 47
Figura 15	Definição das Unidades de manejo a partir dos mapas de Produtividade Normalizada e Produtividade Padronizada equivalente (PPe) para cultivo AL e AC, com 4 e 6 classes de classificação.----- 48
Figura 16	Mapas de contorno da produtividade da soja com Adubação localizada nos anos de 1998 a 2002. ----- 59
Figura 17	Mapas de contorno da produtividade da soja Adubação convencional nos anos de 1998 a 2002. ----- 60
Figura 18	Post-plot dos dados de produtividade da soja Adubação localizada e convencional para os anos de 1998 a 2002. ----- 61

DETERMINAÇÃO DE UNIDADES DE MANEJO A PARTIR DE MAPAS DE PRODUTIVIDADE NORMALIZADA E PADRONIZADA EQUIVALENTE NA CULTURA DA SOJA

RESUMO

Profundas transformações estão sendo visualizadas na agricultura brasileira. A agricultura de precisão, a cada dia, traz novas técnicas, um grau de detalhamento significativamente maior dos métodos agrícolas e um aumento da eficiência com base no manejo diferenciado. Nesse contexto, é importante o estabelecimento de metodologias pelas quais as informações de produtividade possam ser utilizadas para determinação de unidades de manejo. O objetivo deste trabalho foi analisar duas técnicas para definição de unidades de manejo em uma área produtiva com base em mapas de produtividade normalizada e padronizada equivalente apresentado neste trabalho. Foram utilizados dados de produtividade de soja, coletados durante os anos de 1998 a 2002, em uma área pertencente ao Centro de Pesquisas Eloy Gomes da Cooperativa Central Agropecuária de Desenvolvimento Tecnológico e Econômico Ltda. (COODETEC), situada no município de Cascavel - PR, Brasil. A área amostrada possui 1,74 ha, constituída por 128 amostras com adubação localizada e 128 amostras com adubação convencional. Os dados originais de cada variável em estudo foram analisados por meio de técnicas de geoestatística e mapas de contorno gerados por meio de interpolação pela técnica de krigagem. Os valores dos mapas de contorno de cada variável de cada ano foram então normalizados pelas técnicas da produtividade normalizada e produtividade padronizada equivalente, sendo posteriormente classificados em unidades de manejo. Pode-se concluir que os dois métodos de definição de unidades de manejo mostraram-se eficientes e apresentaram semelhanças na disposição

dos dados. Devido ao fato de a produtividade padronizada equivalente utilizar escore padrão, ela contempla uma melhor justificativa estatística.

PALAVRAS-CHAVE: soja, agricultura de precisão, geoestatística.

DETERMINATION OF MANAGEMENT ZONES FROM NORMALIZED AND STANDARDIZED EQUIVALENT YIELD MAPS IN THE SOY CULTURE

ABSTRACT

Great transformations are being visualized in Brazilian agriculture. The precision agriculture is bringing new techniques, a degree of significantly bigger detailing of the agricultural methods and an increase of the efficiency on the basis of the site-specific management. In this context, it is important the establishment of methodologies of productivity information that can be used for determination of management zones. The objective of this work was to analyze two techniques for definition of management zones in a productive area using normalized and standardized yield maps presented in this work. It was used data soy yield, collected during the years of 1998 to 2002, in an area from the Cooperativa Central Agropecuária de Desenvolvimento Tecnológico e Econômico Ltda. (COODETEC), situated in Cascavel - PR, Brazil. The sampling area has 1.74 ha, with 128 plots with site-specific fertilization and 128 plots with conventional fertilization. The original data of each variable in study had been analyzed using geostatistics techniques and the contour maps generated by means of kriging interpolation. The values of the contour maps of each variable and of each year had been normalized by the techniques of normalized yield and equivalent standardized yield, being later classified in management zones. It could be concluded that the two methods of management zones definition had revealed efficient, presenting similarities in the data disposal. Due to equivalent standardized yield uses standard score, it contemplates one better statistics justification, but it presents a bigger implementation difficulty.

KEYWORDS: soybean, precision agriculture, geostatistics

1 INTRODUÇÃO

Com o processo da globalização e suas conseqüências, como o aumento da competitividade, passa a ser fundamental a adoção de novas tecnologias para o sucesso de qualquer atividade agrícola.

Entre as tecnologias e conceitos que surgiram, estão os conceitos da agricultura de precisão, que permitem o monitoramento da variabilidade espacial das culturas, visando à otimização da produção agrícola, à minimização do impacto ambiental provocado pela utilização de insumos agrícolas e à redução dos custos de produção (BALASTREIRE, 2003).

Ressalta-se, portanto que, o mapeamento da produtividade de culturas é uma das fases da agricultura de precisão. Ademais, os métodos e equipamentos necessários para essa finalidade já são relativamente bem conhecidos e fazem parte inclusive de equipamentos já comercializados no País.

Com a adoção de técnicas e conceitos de agricultura de precisão, surgem questões sobre a interpretação referente ao grande volume de informações e de como usá-las como ferramentas que auxiliem na tomada de decisão frente à variabilidade espacial existente nas áreas agrícolas brasileiras. Têm-se, por exemplo, dificuldades com a interpretação de mapas de produtividade.

Dentre os métodos existentes para o levantamento dos atributos a serem utilizados na definição das unidades de manejo, destacam-se a amostragem do solo, o levantamento topográfico, a medição da condutividade elétrica do solo, o mapeamento espectral do solo nu e cultivado e o monitoramento da produtividade. Os dados levantados são então convertidos em mapas temáticos após processo de interpolação, utilizando normalmente técnicas geoestatísticas, encontram-se então os atributos mais correlacionados com a produtividade. Faz-se finalmente, através de um processo de tomada de decisão, a divisão do talhão em unidades de manejo.

O mapa de produtividade é apenas uma etapa de todo processo que envolve a agricultura de precisão e representa o efeito combinado de diversas fontes de variabilidade espacial e temporal. Uma parte dessa variabilidade

pode ser atribuída a fatores que são constantes ou variam lentamente, enquanto outros são fatores transitórios, pois mudam em importância, distribuição espacial e temporal de uma safra para outra (CAPELLI, 2000).

Pesquisas com mapas de produtividade para definição de unidades de manejo foram realizadas por STAFFORD et al., 1996; COLVIN et., 1997; SUDDUTH et al., 1997; FRAISSE, SUDDUTH e KITCHEN, 2001; MOLIN, 2002; RODRIGUES & ZIMBACK, 2002; MILANI et al., 2006 com relativo sucesso.

O objetivo deste trabalho foi analisar duas técnicas para definição de unidades de manejo em uma área produtiva, com base em mapas de produtividade normalizada e padronizada equivalente.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sistema de Referência (Georreferenciamento)

Os sistemas de coordenadas ou de referência foram propostos para se determinar a localização precisa de pontos na superfície da Terra. Para localizar um objeto no plano, o sistema mais comum é o cartesiano. Segundo DENT (1985), no caso da localização de objetos na superfície da Terra, o sistema tem um complicador por causa da esfericidade do planeta, e desta forma, medidas angulares são adicionadas aos elementos do sistema cartesianos.

A posição de um determinado ponto pode ser calculada a partir das distâncias e ângulos existentes entre esse ponto e outros dois ou mais pontos cujas coordenadas sejam conhecidas (STANFFORD & AMBLER, 1994).

BALASTREIRE, ELIAS & AMARAL (1997) relatam que os primeiros sistemas de localização utilizados em agricultura de precisão eram terrestres, e utilizavam-se de dois pontos fixos e de coordenadas conhecidas que eram instalados no campo, enquanto um outro equipamento, instalado na colhedora, conseguia medir a distância e os ângulos dela em relação aos dois pontos fixos.

Segundo MIRANDA (2005), o que diferencia um Sistema de Informações Geográficas de outros sistemas informatizados é sua capacidade de manusear dados espaciais, ou seja, dados que, de alguma maneira, estejam associados a um sistema de referência geográfica.

A projeção de um mapa é aspecto relevante no mapeamento temático. As projeções são importantes para o projetista porque servem para focalizar atenção do leitor, para ampliar e providenciar detalhes seletivos para a mensagem do mapa.

2.2 Sistema Informação Geográfica (SIG)

O termo geoprocessamento denota uma disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas. Essa tecnologia, denotada por geoprocessamento, tem influenciado de maneira crescente as áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia, planejamento urbano e regional e agricultura. Os instrumentos computacionais do geoprocessamento, chamados de sistema de informações geográficas (SIGs), permitem a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados. Os SIGs tornam possível ainda a automatização da produção de documentos cartográficos (CÂMARA & MEDEIROS, 1998a).

Para DAINESE et al (2003), uma das grandes contribuições do geoprocessamento para a população, em termos de agricultura, é o potencial do uso das ferramentas SIG a fim de fazer a integração dos vários tipos de informações necessárias para o gerenciamento e controle da produção agrícola, e a integração de sua tecnologia com outras, e assim fornecer um aumento da produção, quase que simultaneamente, com a redução da degradação ambiental.

O conceito de SIG evoluiu nos últimos anos. Seu objetivo não mudou, mas, ao serem observadas as definições, nota-se que o contexto de definição foi mudado à medida que o uso desses sistemas evoluiu, abrangendo diferentes campos de pesquisa. MIRANDA (2005) explica que, primeiramente, o SIG foi definido como um sistema automatizado de coleta, armazenamento, manipulação e saída de dados cartográficos. Os SIGs evoluíram a partir dos séculos de produções de mapas e da compilação de registros geográficos. MOLIN (2001) define SIG como uma família de programas que permitem armazenar, manipular e mostrar espacialmente os resultados colhidos em campo. Também podem interagir com outros programas para produção de mapas e permitem analisar diversas camadas de dados referentes a um mesmo talhão.

CÂMARA & MEDEIROS (1998a) explicam que o termo SIG refere-se àqueles sistemas que efetuam tratamento computacional de dados

geográficos. Um SIG armazena a geometria e os atributos dos dados que estão georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e em uma projeção cartográfica qualquer. Os dados tratados em geoprocessamento têm como principal característica a diversidade de fontes geradoras e de formatos apresentados.

Atualmente, a diversidade é a principal ferramenta utilizada para o entendimento dos dados de distribuição espacial com grande número de informações, haja vista a elaboração, análise e correlação dos mapas de cada atributo. Uma das principais vantagens do SIG, segundo AVELLAR et al. (2002), é o poder de apresentar os dados em diferentes níveis de detalhe, dentro do enfoque holístico ou analítico com que se estuda a região.

Para BURROUGH (1986), um SIG é constituído por um conjunto de módulos computacionais destinados à aquisição, armazenamento, recuperação, transformação e saída de dados espacialmente distribuídos. Os dados geográficos descrevem objetos do mundo real sob três aspectos:

- a) seu posicionamento com relação a um sistema de coordenadas;
- b) seus atributos e;
- c) as relações topológicas existentes.

Ou seja, é possível trabalhar com dados dos quais se conhece a posição geográfica, o valor da característica naquele ponto e a sua estrutura de relacionamento espacial como a vizinhança, proximidade e pertinência entre objetos geográficos.

O Tratamento de dados em um SIG por um usuário inexperiente pode, segundo KUHAR (1997), gerar resultados duvidosos. A combinação dos dados é fundamental para identificar e localizar, de acordo com RODRIGUES (2002), as associações entre as causas e possíveis efeitos da variabilidade espacial, bem como sua magnitude de influência e de ocorrência no campo.

Para LAMPARELLI ROCHA E BORGHI (2001), ao utilizar-se o SIG no contexto agrícola, os dados de variabilidade espacial de produtividade para determinada cultura podem ser analisados conjuntamente com outros dados (atributos), para a modelagem de cenários futuros e avaliação da efetividade do manejo monitorado para cada área.

2.3 Modelo de dados e amostragem

Para MIRANDA (2005), a procura do entendimento dos acontecimentos do nosso ambiente, por meio da simples observação para ver como funciona ou não, consome tempo e dinheiro. A mensuração de todas as variáveis que influenciam um fenômeno real é praticamente impossível. Historicamente, cientistas têm aprendido o valor de usar modelos com representações aproximadas de sistemas reais. Geralmente, esse procedimento se traduz na formulação de um modelo matemático que possa simular cenários alternativos. Talvez os cenários demorassem muito para ocorrer no mundo real. As simulações podem ajudar a encontrar as idéias que funcionam. A observação simples e pura de fenômenos no ambiente é identificada como um método lento, enquanto a observação dos resultados de um modelo do ambiente é entendida como um método rápido.

O modelo de dados mais simples e mais freqüentemente usado para representar uma entidade é representado por um conjunto de dois elementos: localização geográfica e atributo. Segundo MIRANDA (2005), a localização geográfica de uma entidade no espaço é definida por meio de coordenadas. Geralmente o termo 'dado espacial' é usado para localização geográfica. O atributo, também conhecido como 'dado não espacial', descreve as características de entidade a partir de sua localização espacial. Por exemplo, se a entidade for um poço artesiano, um par de coordenadas define sua localização geográfica e a ela podem estar associados atributos como profundidade, pH da água, salinidade, entre outros.

As amostras de um fenômeno qualquer, seja ele espacial ou não, podem ser coletadas de diferentes maneiras. Basicamente, podem obedecer a um critério de regularidade ou não (Figura 1). A Figura 1 (a) mostra um padrão de pontos regularmente espaçados. A Figura 1 (b) mostra uma distribuição de pontos aleatória. Para esses casos, explica MIRANDA (2005), o procedimento de interpolação seria avaliar o valor dos pontos que estão fora da rede amostral (Figura 1 (c)). Os valores não amostrados poderiam ser calculados mediante uma função linear simples, derivada pela análise dos pontos conhecidos. Uma rede amostral regular pode apresentar vícios, ser tendenciosa. O mais comum é fazer a opção por uma distribuição aleatória, produzindo médias e variâncias

não viciadas. Entretanto, MIRANDA (2005) lembra que deve-se considerar que o custo para obtenção de amostras aleatórias é normalmente maior do que para o caso regular.

A Interpolação é um procedimento de estimação do valor de um atributo em locais não amostrados com base em pontos amostrados na mesma área ou região. Uma interpolação espacial converte dados de observações pontuais em campos contínuos, produzindo padrões espaciais que podem ser comparados com outras entidades espaciais contínuas. O raciocínio que está na base da interpolação é o de que, em média, valores do atributo tendem a ser semelhantes em locais mais próximos do que em locais mais afastados.

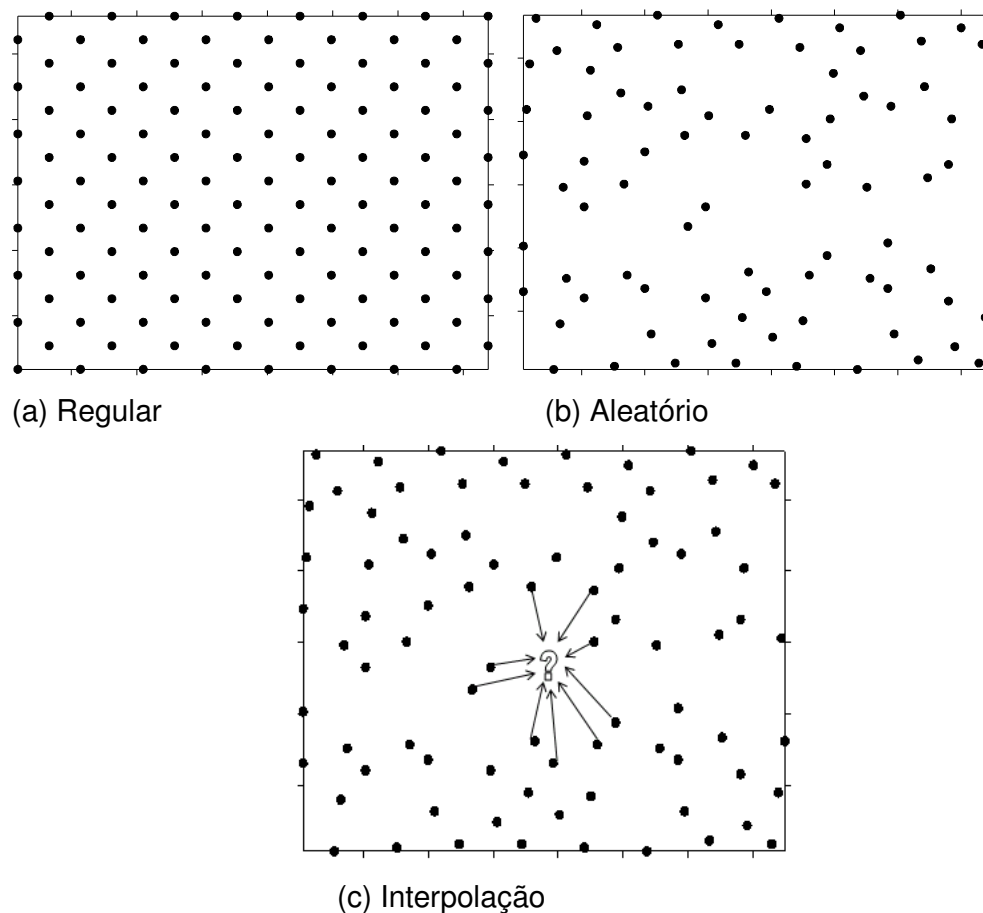


Figura 1 Padrões de amostragem e interpolação.
Fonte: Adaptado de MIRANDA (2005)

Devido a esses fatos, quando se deseja fazer um projeto de levantamento em uma área, uma fase muito importante a ser considerada é o planejamento para a coleta dos dados, decisões como tipo e quantidade de amostragem, os quais devem ser verificados antes de ir a campo.

2.4 Mapas Temáticos

Mapa temático representa um número de conjuntos espaciais resultantes da classificação dos fenômenos que integram o objetivo de estudo de determinado ramo específico, fruto da divisão do trabalho científico. É um veículo de comunicação. Tem a função de registrar, tratar e comunicar informação. As características ou atributos (Z) são resultantes de classificações específicas. X e Y são representados no espaço euclidiano em R^2 e Z é o tema (solos, nutrientes, erosão, produtividade, etc) (ZIMBACK, 2003). Assim, o mapa de produtividade é um exemplo de mapa temático utilizado na agricultura.

O Mapeamento da produtividade da soja é um processo de registro de fluxo de grãos, pelo mecanismo de colheita da máquina, ao mesmo tempo em que é registrada a localização no campo. Segundo DAMPNEY & MOORE (1999), em uma colhedora comercial, as medidas são tomadas a cada três segundos, aproximadamente, resultando em mais de quinhentos pontos por hectare. Técnicas de interpolação são usadas para gerar o mapa de produtividade, geralmente na forma de linhas de contorno preenchidas por cores. Conforme os autores, o mapeamento da produtividade de grãos é geralmente aceito como o ponto de entrada em Agricultura de Precisão.

Quando os agricultores observam mapas de produtividade, eles estão olhando os padrões e as tendências gerais, tais como áreas de produtividade extraordinariamente alta ou baixa. Para WILLIS et al. (1999), uma vez que as áreas são identificadas, os autores consideram que seria então tarefa do produtor, o qual é mais familiarizado com os solos e a história do campo, tentar deduzir porque tais variações estão ocorrendo.

O mapa de produtividade é importante para conhecer a variabilidade espacial e temporal da área, além de servir como fonte de informação para elaboração das recomendações e permitir a visualização detalhada das

condições da área produtiva. É uma imagem que representa a variabilidade espacial da produção. MOLIN (2001) define mapa de produtividade como um conjunto de pontos delimitados por uma área de alguns metros quadrados dentro de um talhão. A montagem do mapa é a plotagem de cada um dos pontos, basta que se escalonem os pontos em diferentes cores ou tons para diferentes valores de produtividade, obtidos na tabela de dados gerados no campo. Com os dados de cada ponto amostrado, podem-se utilizar técnicas matemáticas ou estatísticas para estimar e atribuir valores para pontos não amostrados. Esses processos são conhecidos como interpolações. A partir dos valores estimados e daqueles já conhecidos, se produz o mapa de fácil visualização, bem como se permitem observar variações espaciais dentro da área.

2.5 Variabilidade Espacial

A variabilidade dos fatores de produção está associada a múltiplas causas, desde a variabilidade climática até a representada pelo ambiente em torno de uma única semente, tais como o solo, oxigênio, a disponibilidade de água e nutrientes, que é depositada no solo. Entretanto, FARNHAM (2000) explica que as formas de variabilidade que estão sendo estudadas e manejadas em AP podem ser classificadas em:

variabilidade espacial, ou seja, aquela que ocorre com um atributo na área, por exemplo: variação da concentração de fósforo no solo em uma área;

variabilidade temporal - a que ocorre ao longo do tempo, por exemplo: disponibilidade de água no solo em função da sazonalidade da precipitação pluvial) e;

uma terceira, que representa a ação do homem nas duas primeiras, chamada de variabilidade induzida pelo manejo, ou aquela criada pelas decisões de manejo tomadas nas áreas de cultivo, por exemplo: alocação de culturas e regulação de máquinas. Essa última ocorre, por exemplo, quando há máquinas desgastadas e desreguladas, sistemas diferenciados de cultivo, em que partes da lavoura são deixadas em pousio por vários anos e, deficiência no controle de plantas daninhas.

Para a agricultura de precisão, o produtor necessita saber como o solo varia dentro do campo. Isso requer um método de amostragem e estimativa diferente daqueles usados tradicionalmente. Segundo VIEIRA (1995), a variabilidade espacial de propriedades do solo vem sendo uma das preocupações de vários pesquisadores, praticamente desde o início do século. A variação no interior do campo incluirá desde poucos centímetros até dezenas de metros, sendo desejável solucioná-la com a escala mais ampla para o manejo, o que dependerá da amostragem adequada e de um efetivo método de estimativa (OLIVER, 1999).

Em seu trabalho, DAMPNEY & MOORE (1999) listaram três categorias principais de fatores que podem causar variabilidade espacial na produtividade ou na qualidade das culturas:

- Atributos fixos locais, não facilmente alterados (exemplo: textura e profundidade do solo);
- Atributos persistentes locais, que podem ser alterados (exemplo: pH e nutrientes do solo); e,
- Fatores estacionais de curta duração (exemplo: clima, doenças foliares e pragas).

Para CÂMARA & MEDEIROS (1998b), compreender a distribuição espacial de dados de fenômenos ocorridos no espaço constitui-se hoje em um grande desafio para elucidação de questões centrais em diversas áreas do conhecimento. A ênfase da análise espacial é estudar propriedades e relações, levando em consideração a localização espacial do fenômeno em observações, ou seja, a idéia central é incorporar o espaço à análise que se deseja fazer.

2.6 Análise Estatística Exploratória dos Dados

A análise estatística exploratória dos dados consiste no uso de diversos métodos e conceitos que auxiliam no conhecimento do fenômeno estudado e na tomada de decisões a partir de interpretações necessárias subjetivas dos fatos (JOURNEL, 1988).

Dentre as estatísticas, uma das mais utilizadas por facilitar os cálculos e respectivas interpretações é a variância, também conhecida como

variabilidade. A variabilidade, obtida da amostragem, é dada em função dos valores encontrados ou observados em relação a um valor populacional, conhecido ou determinado.

2.7 Geoestatística

A geoestatística é um método da estatística aplicada que trata de problemas referentes às variáveis regionalizadas, aquelas que têm comportamento espacial e mostram características intermediárias entre as variáveis verdadeiramente aleatórias e as totalmente determinísticas (LANDIM, 1998). Além disso, ela tem sua fundamentação teórica totalmente inserida na teoria convencional da Estatística, como pode ser visto em CRESSIE (1993), DIGGLE & RIBEIRO JÚNIOR (2000) e OLIVEIRA (1991).

A teoria das variáveis regionalizadas foi desenvolvida por Matheron, baseada nos trabalhos realizados por Krige, a partir dos fundamentos da geoestatística. As amostras possuem distribuição espacial, que variam de um ponto a outro com continuidade aparente, cujas variações não podem ser representadas por uma função matemática simples. Pressupõe-se que a variação de uma variável pode ser expressa pela soma de três componentes (BURROUGH, 1986):

- a) uma componente estrutural, associada a um valor médio constante ou a uma tendência constante;
- b) uma componente aleatória, espacialmente correlacionada e;
- c) um ruído aleatório ou erro residual.

Assim, RIBEIRO JÚNIOR (1995) ressalta que a geoestatística não se refere a um tipo especial, diferente ou alternativo de estatística. O fato é que cada observação é descrita não apenas pelo seu valor, mas também por informações de posição, expressa por um sistema de coordenadas. Considerando que observações geograficamente mais próximas tendem a ter valores mais semelhantes e que tal fato pode ser avaliado por medidas de associação, a análise geoestatística determina o grau de associação (autocorrelação espacial) e faz com que os pontos de amostragem mais próximos entre si sejam mais semelhantes do que aqueles mais distantes.

Para VIEIRA (1995), a análise geoestatística dos dados consiste em tentativas e erros para elaboração do melhor modelo de um semivariograma teórico, visando à geração de um mapa que represente a situação no campo pelo processo de interpolação.

O semivariograma é um gráfico que representa a semivariância $\gamma(h)$ dos dados em relação à distancia correspondente que os separa (MASCARIN, 2006). A semivariância é uma medida do grau de dependência espacial entre as amostras. Assim, todos os possíveis pares são analisados. E, quando a distância entre os pares é zero, significa que o valor em cada ponto é comparado com ele próprio, logo, as diferenças são zero e o valor da semivariância também é zero. Para o semivariograma experimental é ajustada a curva que proporciona a máxima correlação possível com os pontos plotados. O modelo ajustado é chamado de modelo teórico do semivariograma. No modelo ajustado, é possível a obtenção de valores dos parâmetros de 'alcance', 'patamar' e 'efeito pepita' (Figura 2).

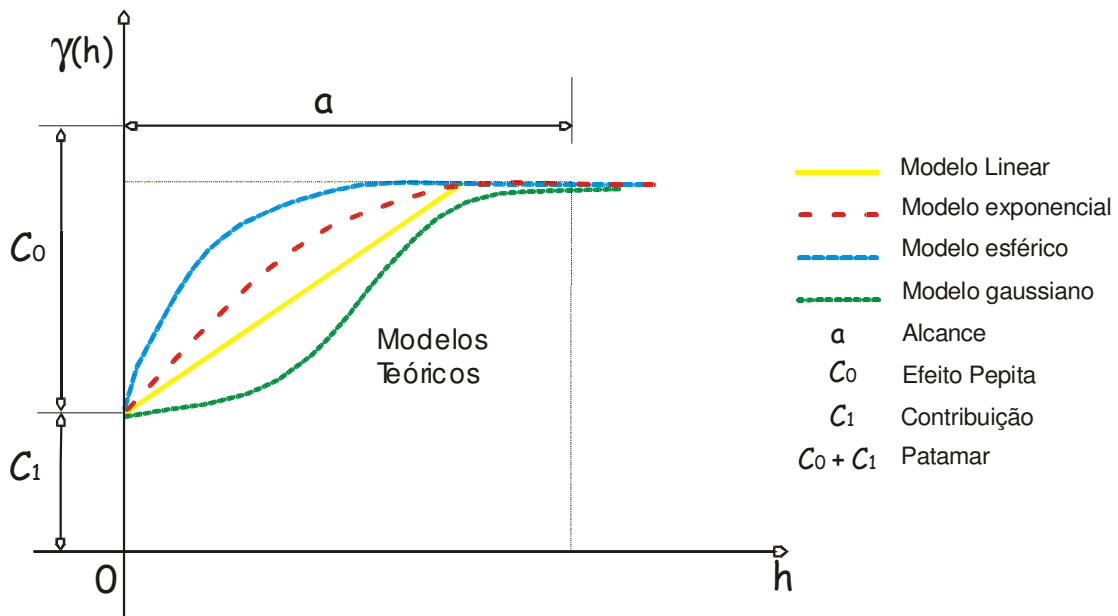


Figura 2 Semivariogramas teóricos e parâmetros de ajuste

Fonte: Adaptado de MILANI (2005)

Na medida em que h aumenta, $\gamma(h)$ também aumenta até um valor máximo no qual ele se estabiliza. O valor no qual $\gamma(h)$ se estabiliza chama-se patamar (Sill) representado por $(C_1 + C_0)$, ou seja, a soma do efeito pepita C_0

com a contribuição C_1 . O patamar ($C_1 + C_0$) é aproximadamente igual à variância da variável Z em estudo. A distância na qual $\gamma(h)$ atinge o patamar é chamada de alcance (Range), recebe o símbolo de **a** e corresponde à distância limite de dependência espacial (VIEIRA et al., 1997). Isso significa que medições localizadas a distâncias maiores que o alcance **a** têm distribuição espacial aleatória e por isso são independentes entre si. O que permite dizer que, para essas amostras a estatística tradicional pode ser aplicada sem restrições.

À medida que h tende para 0 (zero), $g(h)$ se aproxima de um valor positivo chamado Efeito Pepita (C_0), que revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. Parte dessa descontinuidade, segundo ISAACS & SRIVASTAVA (1989), pode ser também devida a erros de medição, mas é impossível quantificar se a maior contribuição provém dos erros de medição ou da variabilidade de pequena escala não captada pela amostragem. Quando o efeito pepita (C_0) for aproximadamente igual ao patamar (C_1+C_0), denomina-se 'efeito pepita puro', demonstrando que a amostra não recebe influência espacial.

O efeito pepita é uma componente aleatória, produzida pela qualidade e quantidade das informações disponíveis, a qual também pode ser produzida por algum fenômeno natural, mas desconhecido da variável, segundo CRESSIE (1993).

O uso da porcentagem da semivariância do Efeito Pepita (%E) para mensurar a dependência espacial foi proposto por (TRANGMAR et al 1985), já CAMBARDELLA et al. (1994) propuseram os intervalos apresentados na Tabela 1 para avaliar a %E, calculada segundo a equação (1).

$$\%E = \frac{C_1}{C_1 + C_0} \times 100 \quad (1)$$

Tabela 1 Intervalos para avaliar a porcentagem da variância espacial do efeito pepita

Dependência espacial	
Forte	$\%E \leq 25\%$
Moderada	$25 \geq \%E \geq 75\%$
Fraca	$\%E \geq 75\%$

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 mostra também continuidade da característica estudada no terreno (LANDIM, 1998).

Para VIEIRA (1998), dependendo do comportamento de $\gamma(h)$ para altos valores de h , os modelos podem ser classificados como modelos com patamar e modelos sem patamar. Modelos com patamar são referenciados na geoestatística como modelos transitivos. Alguns modelos transitivos atingem o patamar ($C_1 + C_0$) assintoticamente. Para tais modelos, o alcance a é arbitrariamente definido como a distância correspondente a 95% do patamar. Modelos sem patamar continuam aumentando enquanto a distância aumenta, e são utilizados para modelar fenômenos que possuam capacidade infinita de dispersão.

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, sendo neles verificada a possibilidade das variáveis estudadas possuírem a propriedade de anisotropia que é a não homogeneidade das distribuições das variâncias para as direções 0° , 45° , 90° e 135° no espaço ENGLUND & SPARKS (1988). Quando o semivariograma é isotrópico, apenas um (o unidirecional) é suficiente para descrever a variabilidade da variável no campo.

Até a década de 80, o ajuste do modelo espacial ao semivariograma experimental era usualmente feito de forma visual, denominado de ajuste 'a sentimento', sem nenhum procedimento matemático. Posteriormente, com o aumento da capacidade dos recursos computacionais, outros métodos de

ajuste, sem subjetividade, foram e estão sendo estudados. Dentre eles, destacam-se os Métodos dos Quadrados Mínimos Ordinários, Ponderados e o Método da Máxima Verossimilhança. Pode-se dizer que eles tiveram o intuito de retirar e/ou atenuar o caráter de subjetividade na estimação dos parâmetros do semivariograma (MELLO et al., 2005).

2.8 Interpolação dos Dados e Construção de Mapas Temáticos

Para MIRANDA (2005) a definição mais simples de interpolação envolve o processo de determinar valores desconhecidos, ou não amostrados, de um atributo contínuo usando valores conhecidos ou amostrados. Esse processo é constituído de duas partes: 1) a definição de um relacionamento de vizinhança – saber quais os pontos são os vizinhos apropriados; e 2) a definição de métodos que calcularão os valores desconhecidos. O balanço entre essas partes pode variar. A interpolação assume que o fenômeno sendo predito é aproximado de perto pela função matemática usada. Os valores desconhecidos são então calculados de acordo com essa função. A escolha de um modelo apropriado, expresso mediante função matemática, é essencial para obter resultados razoáveis. Os melhores resultados são obtidos quando a função matemática se comporta de maneira similar ao fenômeno.

Muitos autores pesquisaram métodos de interpolação e principalmente compararam os diversos métodos, como: método da triangulação (LAM, 1983), método dos polígonos (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989), método do inverso da distância (BROOKERS, 1991 e GOTWAY et al., 1996), método do vizinho mais próximo (MYERS, 1991) e método da Krigagem (YOST et al., 1982; ALLI et al., 1990; HOSSEINI et al, 1993), entretanto, a maioria desses métodos não fornecem o algoritmo dos erros associados aos resultados obtidos o que, efetivamente, é fornecido pelo método geoestatístico da Krigagem, segundo um modelo contínuo de variação espacial (ZIMBACK, 2003).

MIRANDA (2005), demonstra por meio das Figuras 3 e 4, uma idéia simples do que se entende por interpolação. Supondo dois valores conhecidos P1 e P2. Neste caso, qualquer valor entre esses dois pontos conhecidos pode ser calculado pela função matemática que satisfaz a esses pontos. Diz-se que

os valores desconhecidos entre esses dois pontos estão “interpolados” (literalmente, valores ente pólos). Na Figura 3, a reta é a função que explica o fenômeno. Portanto qualquer ponto entre P_1 e P_2 pode ser calculado pela equação da reta. No entanto, a função poderia ser uma curva, gerando uma função de interpolação não-linear (Figura 4).

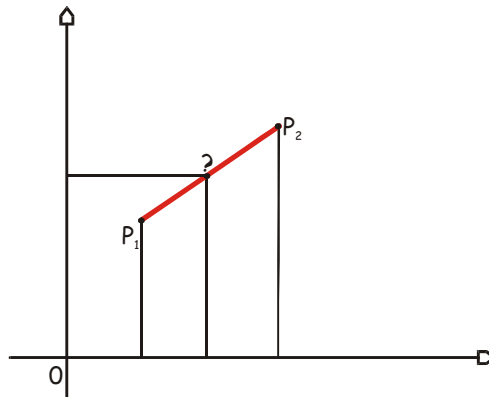


Figura 3 Interpolação Linear.
Fonte: adaptado de MIRANDA (2005)

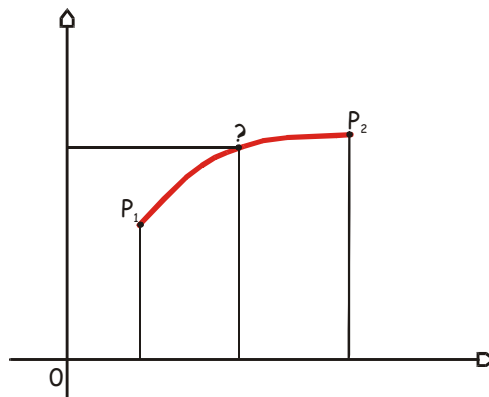


Figura 4 Interpolação Não-Linear.
Fonte: adaptado de MIRANDA (2005)

2. 8. 1 Krigagem

A Krigagem é um dos mais flexíveis e complexos métodos de interpolação e extrapolação de valores para quase todos os tipos de dados. No entanto, com grande quantidade de dados pode se tornar um método bastante demorado. Sua utilização requer o tratamento preliminar dos dados através da geração de um modelo de variabilidade espacial denominado de semivariograma. Após a geração deste modelo, a interpolação é feita usando os mesmos princípios dos outros métodos. (ISAACS & SRIVASTAVA, 1989).

Para ROSSI et al. (1994), três características da Krigagem 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 vantagem de usar a distância e a geometria (relação de anisotropia) entre as amostras. Terceiro diferentemente dos métodos tradicionais, 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.

As técnicas de interpolação comumente usadas na agricultura, segundo FRANZEN & PECK (1995) e WEISZ et al. (1995), incluem a ponderação do inverso da distância e a Krigagem. Ambos os métodos estimam valores de locais não amostrados baseados na medição de locais vizinhos com pesos determinados para cada medição. Na Krigagem, obtém-se uma descrição mais acurada da estrutura espacial dos dados e produz valiosa informação sobre a distribuição da estimativa do erro. A exatidão desses dois processos tem sido comparados em numerosos estudos (KRAVCHENKO & BULLOCK, 1999).

A Krigagem pode ser significativamente afetada pela estrutura e variabilidade espacial dos dados LEENAERS et al.(1990), e pela escolha do modelo do variograma, do raio pesquisado e pelo número de vizinhos próximos utilizados para a estimativa. A dependência entre duas variáveis regionalizadas é representada pelo variograma, que relaciona uma propriedade de segunda-

ordem de estrutura espacial de medida Z e é estimada pela Equação (2), chamada de semivariograma de Matheron (MATHERON, 1963)

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (2)$$

onde:

$\hat{\gamma}(h)$ é a semivariância estimada;

$N(h)$ é o número de pares de valores medidos, $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$, separados por um vetor distância h ;

$Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ são valores da i -ésima observação da variável regionalizada Z , coletados nos pontos x_i e $x_i + h$ ($i = 1, \dots, n$), separados pelo vetor distância h .

CRESSIE e HAWKINS (1980) propuseram o uso do estimador (Equação 3) que se propõe a ser estável quando os dados se afastam das hipóteses do modelo, para conjuntos de dados com pontos discrepantes.

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2} \frac{\left[N(h)^{-1} \sum_{N(h)} \sqrt{|Z(x_i + h) - Z(x_i)|} \right]^4}{0,457 + \frac{0,497}{N(h)}} \quad (3)$$

A hipótese de estacionaridade de primeira ordem é definida por como sendo a hipótese de que o momento de primeira ordem da distribuição da função aleatória $Z(x)$ é constante em toda a área, ou seja:

$$E [Z(x)] = E [Z(x+h)] = m$$

Na hipótese de estacionaridade intrínseca (TRANGMAR et al., 1985), admite-se que $E [Z(x)] = m(x) = m$ para todo x , além disso, admite-se que a covariância das diferenças depende somente de uma função do vetor distância h (JOURNEL & HUIJBREGTS, 1978). Se as condições especificadas pela hipótese intrínseca são contempladas, então o semivariograma pode ser estimado a partir dos dados amostrais.

CRESSIE (1993) menciona a eficiência da krigagem como um interpolador ao relatar que muitos autores pesquisaram métodos de interpolação, dentre eles o método da krigagem; entretanto, a maioria desses métodos não fornece o algoritmo dos erros associados aos resultados obtidos,

o que, efetivamente, é fornecido pelo método geoestatístico da krigagem, segundo um modelo contínuo de variação espacial.

2.9 Comparação de Mapas Temáticos

Para MIRANDA (2005), no processo de reclassificação, o SIG reagrupa as classes do mapa original, geralmente por meio de um processo de fusão, em novas classes, gerando um novo mapa. Ou seja, valores de atributos são modificados, mas não sua geometria. No processo de reclassificação, novos padrões espaciais são criados. Esses padrões podem ser áreas urbanas mais sujeitas a inundações, áreas rurais com maior ocorrência de uma variedade de cultura ou áreas de florestas com determinadas espécies. A reclassificação é realizada com a utilização de um plano de informação. O processo de reclassificação é também chamado de generalização por alguns autores. Isto porque o novo mapa reduz o número de classes ou nível de detalhe de classificação do mapa original, formando algum tipo de padrão mais aparente.

ZIMBACK (2003) explica que o mapa temático representa certo número de conjuntos espaciais resultantes da classificação dos fenômenos que integram o objetivo de estudo de determinado ramo específico, fruto da divisão do trabalho científico. É um veículo de comunicação. Tem a função de registrar, tratar e comunicar informação.

O SIG permite muitas análises espaciais e assim cria a possibilidade de gerar muitos mapas. À medida que aumenta o conjunto de dados disponíveis, cresce também a capacidade de novas análises e novos mapas, um processo cíclico. MIRANDA (2005) classifica os mapas em dois conjuntos: mapas de 'referência geral' e Mapas 'temáticos'. Mapas de referência geral, também conhecidos como 'mapa de referência', mostram uma grande variedade de fenômenos geográficos, sejam eles fenômenos naturais ou antropogênicos. A sua ênfase está em localizações. Como exemplo há os mapas planialtimétricos ou mapa de Atlas.

Mapas temáticos são também conhecidos como mapas de 'propósito específico' ou 'estatístico'. Segundo a *International Cartographic Association*, a definição de mapa temático é: "Um mapa projetado para demonstrar elementos

ou conceitos particulares. No uso convencional, esse termo exclui mapas planialtimétricos” (DENT, 1985). Esse mapa se concentra geralmente, na representação do relacionamento estrutural de um tema ou objetivo selecionado. Um mapa temático apresenta um tema gráfico acerca de um objetivo e pode pertencer ao grupo qualitativo ou quantitativo.

Um mapa de produtividade é um conjunto de pontos delimitados por uma área de alguns metros quadrados. A montagem do mapa nada mais é do que a plotagem de cada um daqueles pontos num sistema cartesiano. Outra forma bastante comum é a sua representação por linhas de iso-produtividade, ou seja, isolinhas que delimitam regiões com produtividades dentro de um mesmo intervalo, para se obter esse mapa é apenas necessário se manipular alguma função específica do software de mapa. Ambos os mapas, de pontos ou isolinhas, devem mostrar as mesmas tendências. As regiões de altas ou de baixas produtividades, se existirem, devem ficar evidentes. MOLIN (2001).

A técnica analítica baseada na análise multivariada discreta sugerida por CONGALTON & GREEN (1993), para dados de sensoriamento remoto, denomina-se Kappa e foi proposta em COHEN (1960). Segundo COHEN (1960), para o uso do coeficiente Kappa, supõe-se as seguintes condições: que as unidades amostrais sejam independentes e que as categorias sejam independentes. Para CONGALTON & GREEN (1993), o índice kappa é um dos principais meios utilizados na determinação da exatidão de uma classificação temática. Ele adota uma referência para a comparação com os mapeamentos produzidos e utiliza matrizes de confusão ou matrizes de erros.

Sob a suposição da normalidade, a independência das unidades amostrais é caracterizada pela ausência de correlação entre elas. CONGALTON (1988), ao analisar a correlação entre pixels de uma imagem binária, representando erros e acertos de classificação, observou que a correlação diminuiu com o aumento da distância entre os pixels.

LANDIS & KOCH (1997) consideraram que um método eficiente de comparação entre mapas é fazer uma sobreposição e uma avaliação pixel-a-pixel, de modo a identificar as áreas de concordância entre os dois mapas. Para expressar o grau de concordância entre os mapas classificados num único valor utilizaram o índice kappa. Este índice assume um valor máximo

igual a 1 (um), onde os valores mais elevados representam maior correspondência entre as classes dos dois mapas considerados.

Visando a comparação de dois mapas temáticos, COELHO (2006) propôs o coeficiente de desvio relativo (CDR). Ele expressa a diferença média em módulo dos valores interpolados em cada mapa, considerando um deles como mapa padrão.

2.10 Unidades de Manejo

A definição de unidades de manejo para RODRIGUES & ZIMBACK (2002), tem se mostrado uma alternativa para se estabelecer uma efetiva prática de agricultura de precisão. Entre os meios capazes de definir estas unidades, o estudo dos dados de produtividade desponta como uma linha promissora para este esperado avanço, a fim de obter subsídios para a melhor compreensão da variabilidade espacial e os meios de manejá-la com eficiência e economia.

Para BROOS et al. (1999), zonas com as mesmas características podem ser distinguidas com base nos mapas de produtividade e topográficos, de tal forma que as análises de solo possam ser reduzidas. Não podendo, entretanto, ser usado um único mapa de produtividade para indicar diferentes unidades de manejo. Para distinguir estas unidades, é necessário examinar não somente a variabilidade espacial, mas também a temporal da produtividade da cultura ou das propriedades analisadas.

BLACKMORE (2000) definiu classes para unidade de manejo a partir do cruzamento de um mapa de tendência da variabilidade com um mapa de estabilidade temporal.

MOLIN (2002) definiu unidades de manejo a partir de mapas de produtividade, avaliando duas lavouras uma em SP e outra no PR, utilizando um SIG e analisando a variabilidade. Ele definiu as unidades de manejo em função de três classes de produtividade (alta, média e baixa) e duas classes de consistência temporal (com e sem).

RODRIGUES & ZIMBACK (2002) construíram unidades de manejo estudando dados de produtividade das culturas (milho e soja), gerados por um sistema comercial de monitoramento de colheita e de atributos do solo, submetidos a um processo de classificação através da técnica de análise de agrupamento. O autor relatou que os dados de produtividade expressaram uma dependência espacial bastante consistente, abrangendo uma faixa de correlação com distâncias entre 30 e 40 metros. A combinação dos mapas classificados por nível de produtividade permitiu definir quatro classes de comportamento da produtividade, que foram divididas em áreas iguais, utilizando variáveis padronizadas. Por outro lado, nenhum dos atributos de solo estudados correspondeu isoladamente a um fator limitante ou estimulante à produtividade em qualquer das sub-regiões. A definição de unidades de manejo a partir das sub-regiões requer ainda um levantamento de outras variáveis, em especial as que dizem respeito à oferta de água disponível às plantas e à infiltração de água no solo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da Área de Estudo

Os dados amostrais deste estudo foram coletados em uma área experimental pertencente ao Centro de Pesquisas Eloy Gomes, da Cooperativa Central Agropecuária de Desenvolvimento Tecnológico e Econômico Ltda (COODETEC) Figura 5. A empresa possui uma área total de 470 ha para desenvolvimento de pesquisas na área de melhoramento genético.



Figura 5 Imagem por satélite da COODETEC.
Fonte: Google Earth (2006)

O Oeste do Paraná é conhecido pelo potencial no cultivo de grãos, desta forma muitos estudos estão sendo realizados, tanto para melhoria do sistema de plantio direto, como também para implantação de sistemas de agricultura de precisão. A área de estudo situa-se no município de Cascavel, região oeste do estado do Paraná, localizada na BR 467, km 98, com altitude de 760m, latitude 24°56'S e longitude 53°23'W, pluviosidade média anual de 1850 mm e umidade relativa do ar em média de 78 % (COODETEC, 2006). O solo da área é classificado segundo EMBRAPA (1999) como LATOSSOLO VERMELHO Distróférrico. O clima da região é caracterizado como temperado mesotérmico e superúmido. A classificação segundo KOPPEN (1948) é do tipo

Cfa, sempre úmido e frio o ano todo no máximo três meses com médias acima de 10 °C.

A área total estudada possui 1,74 ha, a cultura da soja foi cultivada sob sistema de plantio direto. A área foi dividida em 256 parcelas de 7,2 m x 7,2 m, com corredor de 2,4 m em uma das direções. Metade da área (128 parcelas) foi manejada com adubação localizada (AL) e a outra metade (128 parcelas) foi cultivada com adubação convencional (AC). A colheita foi realizada nos anos de 1998 a 2002 sempre no mês de abril, utilizando uma colhedora de parcelas pertencente a COODETEC, desenvolvida para experimentos em parcelas. As parcelas possuíam uma bordadura de 1,1 m, ficando desta forma reduzida às dimensões de 7,2 x 7,2 m para 5,0 x 5,0 m ou 25 m². A produtividade foi expressa em t ha⁻¹ a 13% de umidade.

Os pontos de amostragem foram localizados com auxílio de teodolito e trena. A área em estudo apresenta declividades menores que 0,19%.

3.2 Amostragem e Delineamento Experimental

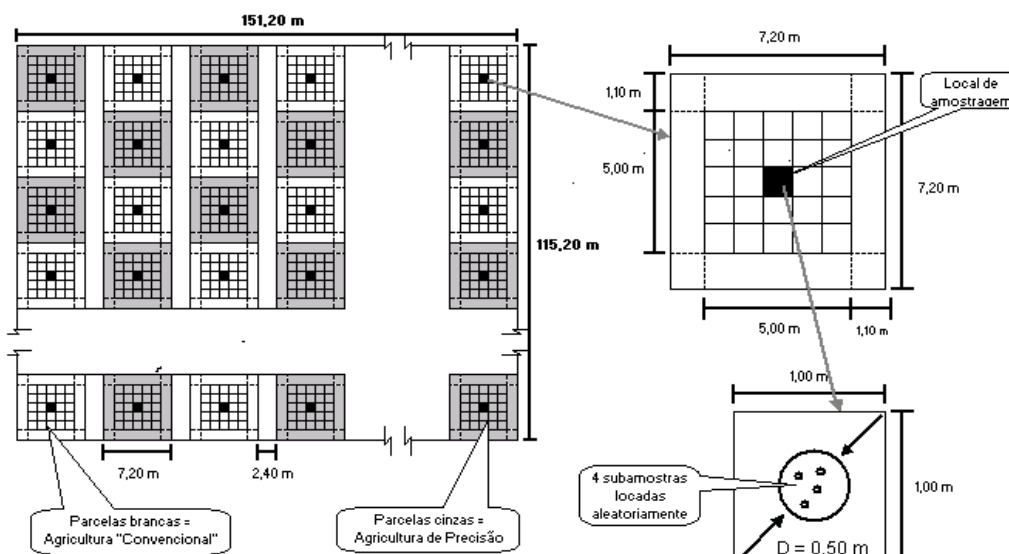


Figura 6 Área de pesquisa, mostrando a amostragem alinhada sistemática estratificada.

Fonte: Adaptado por COELHO (2006)

A amostragem da produtividade foi realizada medindo-se a massa produzida em cada parcela, posteriormente convertida em produtividade considerando-se a área da parcela (Figura 6). A produtividade de cada parcela foi associada ao seu centro geométrico, seguindo o delineamento amostragem alinhada sistemática estratificada.

3.3 Análise Estatística

A análise exploratória dos dados foi realizada com o programa Minitab 14 para obtenção das medidas de posição (média, mediana e moda), medidas de dispersão (variância, desvio-padrão e amplitude interquartis) e medidas de forma da distribuição (coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose). O coeficiente de variação foi avaliado conforme a Tabela 2. A distribuição normal de probabilidade dos dados foi verificada, utilizando o teste proposto por Anderson Darling e Kolmogorov-Smirnov.

Tabela 2 Classificação do Coeficiente de Variação (CV)

Faixa de variação	CV
0 – 10%	Baixo
10 – 20%	Médio
20 – 30%	Alto
> 30%	Muito Alto

Fonte: Adaptado de Gomes (2000)

Na análise descritiva foi observado o comportamento dos dados, por meio de histogramas, gráficos box-plot, post-plot e outras ferramentas estatísticas, permitindo verificar o comportamento e a presença de dados discrepantes, que não se enquadraram entre os limites inferior e superior. Os gráficos post-plot permitem identificar se existem regiões com concentração de valores altos ou baixos dentro da área experimental, ou seja, tendências direcionais dos dados.

O processo geoestatístico foi desenvolvido visando à elaboração dos mapas das variáveis analisadas. Segundo VIEIRA (2000) para uma análise

geoestatística adequada é imprescindível efetuar uma cuidadosa análise descritiva dos dados, pois, esta etapa mal realizada pode levar a uma resposta não condizente com a realidade de campo.

Para descrever a variação dos dados no espaço foi utilizado o software GEOCAC que proporcionou a construção dos semivariogramas experimentais para as distribuições da produtividade nas diferentes safras. A verificação da isotropia foi realizada através do cálculo das semivariâncias em todas as direções. Para os dados que apresentaram uma distribuição normal de probabilidade utilizou-se o estimador clássico de Matheron e para os dados que não apresentaram distribuição normal de probabilidade o estimador de Cressie e Hawkins.

Os modelos avaliados foram os disponíveis no software GEOCAC, sendo eles o exponencial, o gaussiano, o esférico e o circular. Para a escolha dos modelos, e dos parâmetros mais adequados para cada caso, foi utilizado como critério o método de ajuste de mínimos quadrados ordinário (OLS), adotando-se o modelo isotrópico (semivariograma omnidirecional) com um cutoff de 50% da área máxima.

3.4 Mapas de Contorno

Com os parâmetros e modelos ajustados aos semivariogramas para as variáveis em estudo, utilizou-se o software SURFER 8.0 (Demo) para a realização da interpolação dos valores nas posições amostradas, por meio da técnica de Krigagem ordinária.

Os mapas dos anos de 1998 a 2002 foram construídos após a transformação dos dados de produtividade, conforme item 3.5 (produtividade normalizada e produtividade padronizada).

3.5 Determinação das Unidades de Manejo

Os dados transformados em produtividade normalizada e produtividade padronizada e interpolados conforme já descrito, foram classificados conforme

as metodologias que serão apresentadas, nos itens 3.5.1 e 3.5.2, para posterior comparação.

3. 5. 1 Método da produtividade normalizada

Neste método, proposto por MOLIN (2002) se utiliza uma produtividade normalizada (PN) pela média, calculada pela equação (4).

$$PN_{ij} = \frac{P_{ij}}{\bar{P}_j} \quad (4)$$

i : 1,2,3..., n (amostras) e j : 1, 2 ..., t (anos ou períodos)

Onde:

PN_{ij} : Produtividade normalizada no ponto i no ano j;

P_{ij} : Produtividade média do ponto i no ano j;

$\bar{P}_j$: Produtividade média do ano j;

Após a normalização dos dados foi calculado os coeficientes de variação (CV) conforme equação (5) e então realizada a reclassificação utilizando as classes de manejo definidas na Tabela 3.

$$CV_i = \frac{S_{i\bullet}}{\bar{P}_{i\bullet}} \times 100 \quad (5)$$

i = 1, 2, 3, ... n

Em que:

$$S_{i\bullet} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^t (P_{ij} - \bar{P}_{i\bullet})^2}{t-1}} \quad (6)$$

i : 1,2,3..., n e j : 1, 2 ..., t

$$\bar{P}_{i\bullet} = \frac{1}{t} \sum_{j=1}^t P_{ij} \quad (7)$$

i : 1,2,3..., n e j : 1, 2 ..., t

Onde:

CV_i = coeficiente de variação no ponto i nos t anos;

$S_{i\bullet}$ = Desvio padrão do ponto i nos t anos estudo;

$\bar{P}_{i\bullet}$ = Média do ponto i nos t anos;

Tabela 3 Classes de classificação (quatro) dos mapas de unidades de manejo a partir da produtividade normalizada (PN) e do coeficiente de variação (CV)

Classe		Produtividade normalizada (PN)	Coeficiente de variação (CV)
1	Alta e consistente	PN >105%	CV ≤ 30%
2	Média e consistente	95% ≤ PN ≤ 105%	CV ≤ 30%
3	Alta e consistente	PN < 95%	CV ≤ 30%
4	Inconsistente	-	CV > 30%

Foi proposta ainda uma classificação adaptada com seis classes conforme Tabela 4.

Tabela 4 Classes de classificação (seis) dos mapas de unidades de manejo a partir da produtividade normalizada (PN) e do coeficiente de variação (CV)

Classe		Produtividade normalizada (PN)	Coeficiente de variação (CV)
1	Alta e Consistente	PN >105%	CV ≤ 30%
2	Média e Consistente	95% ≤ PN ≤ 105%	CV ≤ 30%
3	Baixa e consistente	PN < 95%	CV ≤ 30%
4	Alta e Inconsistente	PN >105%	CV > 30%
5	Média e Inconsistente	95% ≤ PN ≤ 105%	CV > 30%
6	Baixa Inconsistente	PN < 95%	CV > 30%

3. 5. 2 Método da produtividade padronizada

Neste método, proposto por MILANI et. al. (2006), se utiliza a produtividade padronizada normalizada pelo escore padronizado, conforme equação (8) e classificada conforme a Tabela 5.

$$ZV_{ij} = \frac{P_{ij} - \bar{P}_j}{s_j} \quad (8)$$

i : 1,2,3..., n e j : 1, 2 ..., t

Em que:

$$\bar{P}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{ij} \quad (9)$$

j : 1, 2 ..., t

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{ij} - \bar{P}_j)^2}{n-1}} \quad (10)$$

j : 1, 2 ..., t

Onde:

ZV_{ij} : Produtividade padronizada no ponto i e no ano j;

P_{ij} : Produtividade média do ponto i e no ano j;

$\bar{P}_j$: Produtividade média do ano j;

S_j : Desvio padrão da produtividade no ano j;

Tabela 5 Classes de classificação (nove) dos mapas de unidades de manejo a partir da produtividade padronizada (PP) e do coeficiente de variação (CV)

Classe	Produtividade padronizada (PP)	Coeficiente de variação (CV)
1	PPe < 33º percentil	< 10%
2	PPe < 33º percentil	10% ≤ CV ≤ 30%
3	PPe < 33º percentil	> 30%
4	33º ≤ PPe ≤ 67º	< 10%
5	33º ≤ PPe ≤ 67º	10% ≤ CV ≤ 30%
6	33º ≤ PPe ≤ 67º	> 30%
7	PPe > 67º percentil	< 10%
8	PPe > 67º percentil	10% ≤ CV ≤ 30%
9	PPe > 67º percentil	> 30%

O método apresentado por MILANI et al. (2006) calculou os CV em função das produtividades originais devido à impossibilidade de se calcular o coeficiente de variação dos dados normalizados por escore padrão, visto que a média dos dados é zero.

3. 5. 3 Método da produtividade padronizada equivalente

O problema na equação apresentada por MILANI et al. (2006) foi solucionado pelo cálculo da produtividade padronizada equivalente conforme equação (9):

$$PPe_{ij} = ZV_{ij} \times \bar{S}_t + \bar{\bar{P}}_t \quad (11)$$

Em que:

$$\bar{\bar{P}}_t = \frac{1}{t} \sum_{j=1}^t \bar{P}_j \quad (12)$$

i : 1,2,3,..., n e j : 1, 2 ..., t

$$\bar{S}_t = \frac{1}{t} \sum_{j=1}^t S_j \quad (13)$$

i : 1,2,3,..., n e j : 1, 2 ..., t

Onde:

PPe_{ij} : Produtividade padronizada equivalente do ponto i e no ano j;

$\bar{S}_t$: Média dos desvios padrão nos t anos;

$\bar{\bar{P}}_t$: Média das observações médias dos t anos.

Visando estudar o efeito de diferentes números de classes e também a comparação entre a Produtividade Normalizada e a Produtividade Padronizada equivalente foram propostas as classificações das Tabelas 06 e 07 para a produtividade padronizada equivalente.

Após a padronização dos dados foi também calculado os coeficientes de variação (CV) de acordo com a equação 5 e então realizada a reclassificação utilizando as classes de manejo definidas nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6 Classes de classificação (quatro) dos mapas de unidades de manejo a partir da produtividade padronizada equivalente (PPe) e do coeficiente de variação (CV)

Classe	Produtividade padronizada equivalente (PPe)	Coeficiente de variação (CV)
1	PPe < 33º percentil	≤ 30 %
2	33º ≤ PPe ≤ 67º	≤ 30 %
3	PPe > 67º percentil	≤ 30 %
4	-	> 30 %

Tabela 7 Classes de classificação (seis) dos mapas de unidades de manejo a partir da produtividade padronizada equivalente (PPe) e do coeficiente de variação (CV)

Classe	Produtividade padronizada equivalente (PPe)	Coeficiente de variação (CV)
1	PPe < 33º percentil	≤ 30 %
2	33º ≤ PPe ≤ 67º	≤ 30 %
3	PPe > 67º percentil	≤ 30 %
4	PPe < 33º percentil	> 30 %
5	33º ≤ PPe ≤ 67º	> 30 %
6	PPe > 67º percentil	> 30 %

3.6 Comparação de Mapas

Após a elaboração dos mapas com as unidades de manejo foram comparados os mapas com mesmo número de classes utilizando-se o índice kappa, calculado pela equação (14).

$$k = \frac{n \sum_{i=1}^r Z_{ii} - \sum_{i=1}^r (Z_{i+} \times Z_{+i})}{n^2 - \sum_{i=1}^r (Z_{i+} + Z_{+i})} \quad (14)$$

i : 1,2,3,..., n e j : 1, 2 ..., t

onde:

n: Número total de observações (pontos amostrais);

r : Número de linhas da matriz de erro;

Z_{ij} : Observações da linha i e coluna j ;

Z_{i+} : Total marginal da linha i ;

Z_{+j} : Total marginal da coluna j .

Após o cálculo do índice kappa foi realizada a análise do índice segundo Tabela 8 que foi proposto por LANDIS & KOCH (1977).

Tabela 8 Classificação qualitativa do índice kappa (k)

Índice kappa	Qualidade
< 0,00	Péssima
0,01 - 0,20	Ruim
0,21 - 0,40	Razoável
0,41 - 0,60	Boa
0,61 - 0,80	Muito Boa
0,81 - 1,00	Excelente

Fonte: LANDIS & KOCH (1977)

A verificação da igualdade entre mapas também foi realizada através do coeficiente de desvio relativo (CRD) apresentado por COELHO (2006), que foi calculado pela equação (15).

$$CDR = \sum_{i=1}^n \left| \frac{P_{ij} - P_{ipad}}{P_{ipad}} \right| * \frac{100}{n} \quad (15)$$

$i : 1, 2, 3, \dots, n$ e $j : 1, 2, \dots, t$

Onde:

n = número de pontos;

P_{ipad} = produtividade no ponto i para o mapa padrão;

P_{ij} = Produtividade no ponto i para o ano j ;

Para este trabalho os mapas de produtividade normalizada (PN) foram utilizados como mapa padrão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise Estatística Descritiva

Os coeficientes de variação (CV) da produtividade da soja com adubação localizada (Tabela 9), apresentaram-se entre 10% e 30%, ficando entre médio e alto e caracterizando relativa homogeneidade dos dados (GOMES, 2000)

Tabela 9 Resultados da análise estatística descritiva para os dados de produtividade de soja adubação localizada, para os anos de 1998 a 2002

Variáveis	Produtividade (t ha ⁻¹)				
	1998	1999	2000	2001	2002
Média	2,708	1,940	3,099	2,606	1,731
CV (%)	16,2%	22,9%	12,0%	14,7%	23,6%
Desvio padrão	0,440	0,445	0,371	0,383	0,409
Curtose	0,213	0,538	1,626	1,247	1,184
Assimetria	-0,120	-0,809	-1,204	-1,145	-1,156
Mínimo	1,190	0,685	1,648	1,419	0,448
1º Quartil	2,390	1,740	2,930	2,440	1,570
Mediana	2,751	2,047	3,160	2,671	1,814
3º Quartil	2,997	2,220	3,340	2,870	2,010
Máximo	3,696	2,812	3,716	3,199	2,336
nº de amostras	128	127	127	127	127

* CV(%) = (Desvio padrão/média)x100

Para os dados de produtividade com adubação convencional, as produtividades apresentaram de média à alta variabilidade (GOMES, 2000) exceto para o ano de 2002 (36,4 %) que apresentou um CV acima de 30%, caracterizando variabilidade dos dados amostrais muito alta (Tabela 10). Os dados apresentados nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 10 Resultados da análise estatística descritiva para os dados de produtividade de soja adubação convencional, para os anos de 1998 a 2002

Variáveis	Produtividade (t ha ⁻¹)				
	1998	1999	2000	2001	2002
Média	2,785	1,957	3,099	2,670	0,839
CV (%)	19,2%	22,9%	13,0%	13,6%	36,4%
Desvio padrão	0,535	0,448	0,403	0,364	0,305
Curtose	-0,115	1,253	1,422	1,873	1,845
Assimetria	0,209	-0,797	-1,440	-1,221	1,025
Mínimo	1,393	0,405	1,258	1,312	0,189
1º Quartil	2,422	1,782	2,922	2,542	0,670
Mediana	2,700	1,984	3,140	2,750	0,790
3º Quartil	3,170	2,262	3,330	2,890	0,980
Máximo	4,142	2,930	3,978	3,343	1,863
nº de amostras	128	128	128	128	127

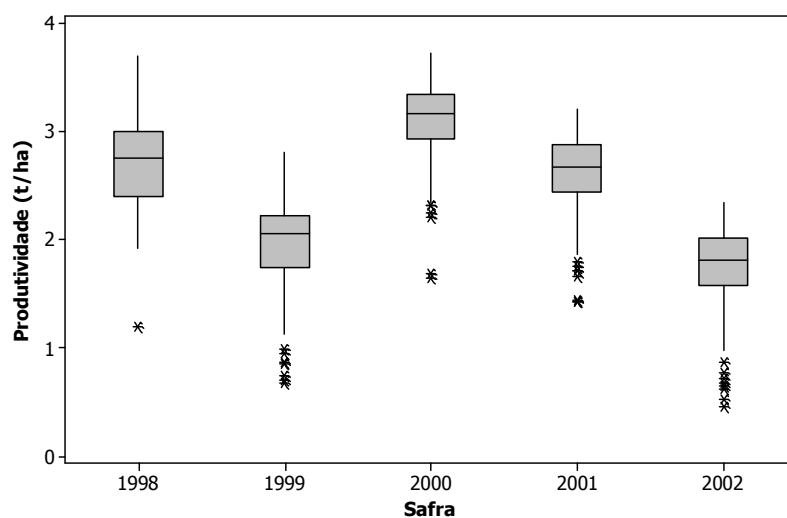


Figura 7 Boxplot para os dados de produtividade com adubação localizada.

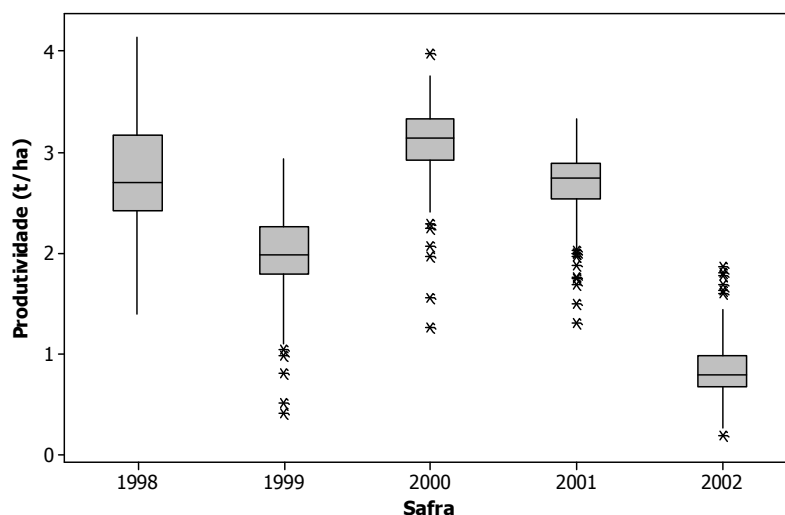


Figura 8 Boxplot para os dados de produtividade adubação convencional.

Os dados discrepantes podem ser vistos nas Figuras 7 e 8, somente para dados de produtividade Adubação convencional do ano de 1998, não foram observados dados discrepantes.

Foi encontrada distribuição normal de probabilidade para os dados de produtividade (normal, normalizada e padronizada equivalente) para o ano de 1998, com e sem adubação localizada, confirmando o resultado obtido com o box-plot das figuras 7 e 8, e para os dados médios de produtividade adubação convencional, conforme Tabela 11. O restante dos conjuntos de dados não apresentaram normalidade segundo teste de normalidade de Anderson Darling e Kolmogorov-Smirnov.

Tabela 11 Resultados do teste de normalidade para a produtividade normal (Prod), para a produtividade normalizada (PN) e para a produtividade padronizada equivalente (PP) para as parcelas com adubação localizada (AL) e com adubação convencional (AC)

<i>Teste de Normalidade</i>		<i>Teste de Normalidade</i>	
AL		AC	
Variável	Normal*	Variável	Normal*
<i>Prod_98</i>	sim	<i>Prod_98</i>	sim
<i>Prod_99</i>	não	<i>Prod_99</i>	não
<i>Prod_00</i>	não	<i>Prod_00</i>	não
<i>Prod_01</i>	não	<i>Prod_01</i>	não
<i>Prod_02</i>	não	<i>Prod_02</i>	não
<i>Média</i>	não	<i>Média</i>	sim
<i>CV</i>	não	<i>CV</i>	não
<i>PN_98</i>	sim	<i>PN_98</i>	sim
<i>PN_99</i>	não	<i>PN_99</i>	não
<i>PN_00</i>	não	<i>PN_00</i>	não
<i>PN_01</i>	não	<i>PN_01</i>	não
<i>PN_02</i>	não	<i>PN_02</i>	não
<i>Média</i>	não	<i>Média</i>	não
<i>CV</i>	não	<i>CV</i>	não
<i>PPe_98</i>	sim	<i>PPe_98</i>	sim
<i>PPe_99</i>	não	<i>PPe_99</i>	não
<i>PPe_00</i>	não	<i>PPe_00</i>	não
<i>PPe_01</i>	não	<i>PPe_01</i>	não
<i>PPe_02</i>	não	<i>PPe_02</i>	não
<i>Média</i>	não	<i>Média</i>	não
<i>CV</i>	não	<i>CV</i>	não

* Os dados possuem normalidade segundo teste de normalidade de Anderson Darling e Kolmogorov-Smirnov a 5% de significância.

4.2 Análise Descritiva Espacial

Uma outra visão dos dados é verificada através dos gráficos post-plot apresentados no Anexo C, onde as cores mais fortes são associadas aos maiores valores de produtividade.

Esse gráfico é construído pela classificação de cada parcela segundo os quartis, os dados que pertencem ao mesmo intervalo quartílico são classificados e representados como iguais e a concentração de símbolos iguais indica uma sub região. Se o gráfico apresentar uma variação gradativa numa dada região, isso poderá indicar uma tendência ou falta de estacionariedade ISAACS & SRIVASTAVA, 1989; RIBEIRO JUNIOR, 1995; GONÇALVES, 1997.

Não foi verificada nenhuma região que variasse uniformemente na Figura 19, indicando estacionariedade para essas variáveis. Indicando que não foram detectados problemas quanto à hipótese necessária ao emprego do estudo de variabilidade espacial com o emprego da geoestatística.

4.3 Análise Geoestatística

Os modelos e parâmetros ajustados aos semivariogramas estão apresentados nas Tabelas 12 (Produtividade da soja com adubação química localizada) e Tabela 13 (Produtividade da soja sem adubação química localizada). Todos os conjuntos de dados apresentaram um nível moderado de variação espacial visto que coeficiente de efeito pepita (%C) ficou entre 25% e 75% (Tabelas 12 e 13).

Os valores do índice de proporção (%C) obtidos para produtividade nas diferentes safras demonstram que, para o cultivo com manejo químico localizado, esse nível foi superior aos valores obtidos para os sem manejo químico de um modo geral, embora todos tenham expressado um nível médio de variabilidade, conforme pode ser observado nas Tabelas 12 e 13.

Tabela 12 Modelos e parâmetros dos semivariogramas para produtividade da soja com adubação localizada

Produtividade com adubação localizada						
Variável	Modelo	C0	C1	(C0+C1)	a	E (%)
Prod 1998	Exponencial	0,065	0,139	0,204	51,6	68,1
Prod 1999	Exponencial	0,046	0,134	0,180	39,1	74,4
Prod 2000	Exponencial	0,067	0,061	0,128	82,6	47,7
Prod 2001	Exponencial	0,037	0,087	0,124	48,9	70,2
Prod 2002	Esférico	0,052	0,095	0,147	100,1	64,6
Média	Exponencial	0,010	0,029	0,039	49,0	25,64
CV	Exponencial	0,003	0,004	0,007	76,1	57,1
Produtividade normalizada						
Variável	Modelo	C0	C1	(C0+C1)	a	E (%)
PN 1998	Esférico	0,014	0,013	0,027	46,5	48,1
PN 1999	Exponencial	0,015	0,033	0,048	37,9	68,8
PN 2000	Exponencial	0,006	0,005	0,011	76,1	45,5
PN 2001	Exponencial	0,006	0,012	0,018	50,1	66,7
PN 2002	Esférico	0,017	0,036	0,053	109,9	67,9
PN médio	Exponencial	0,003	0,005	0,008	72,3	62,5
CV	Esférico	0,005	0,003	0,008	100,7	37,5
Produtividade padronizada equivalente						
Variável	Modelo	C0	C1	(C0+C1)	a	E (%)
PPe 1998	Esférico	0,059	0,075	0,134	46,6	56,0
PPe 1999	Exponencial	0,066	0,109	0,175	48,2	62,3
PPe 2000	Esférico	0,060	0,041	0,101	95,0	40,6
PPe 2001	Exponencial	0,033	0,068	0,101	56,2	67,3
PPe 2002	Esférico	0,139	0,317	0,456	104,3	69,5
PPe médio	Exponencial	0,003	0,005	0,008	72,3	62,5
CV	Esférico	0,005	0,005	0,010	128,6	50,0

Nota: C₀ efeito pepita; C₁ contribuição; (C₀ + C₁) patamar; E = C₀ / (C₀ + C₁) coeficiente de efeito pepita.

Tabela 13 Modelos e parâmetros dos semivariogramas para produtividade da soja sem adubação química localizada

Produtividade adubação convencional						
Variável	Modelo	C0	C1	(C0+C1)	a	E (%)
Prod 1998	Esférico	0,178	0,123	0,301	107,1	40,9
Prod 1999	Esférico	0,113	0,064	0,177	55,5	36,2
Prod 2000	Esférico	0,062	0,081	0,143	112,3	56,6
Prod 2001	Exponencial	0,040	0,064	0,104	37,4	61,5
Prod 2002	Esférico	0,045	0,025	0,070	31,0	35,7
Média	Exponencial	0,017	0,027	0,044	45,2	61,4
CV	Exponencial	0,003	0,003	0,006	34,8	50,0
Produtividade Normalizada						
Variável	Modelo	C0	C1	(C0+C1)	a	E (%)
PN 1998	Esférico	0,022	0,023	0,045	149,7	51,1
PN 1999	Esférico	0,025	0,022	0,047	47,8	46,8
PN 2000	Esférico	0,007	0,008	0,015	116,2	53,3
PN 2001	Exponencial	0,005	0,010	0,015	46,5	66,7
PN 2002	Esférico	0,051	0,047	0,098	26,9	48,0
PN médio	Exponencial	0,005	0,007	0,012	49,1	58,3
CV	Exponencial	0,006	0,003	0,009	113,6	33,3
Produtividade padronizada equivalente						
Variável	Modelo	C0	C1	(C0+C1)	a	E (%)
PPe 1998	Esférico	0,087	0,090	0,177	86,2	50,8
PPe 1999	Esférico	0,102	0,047	0,149	59,4	31,5
PPe 2000	Esférico	0,069	0,095	0,164	99,0	57,9
PPe 2001	Exponencial	0,065	0,097	0,162	36,8	59,9
PPe 2002	Exponencial	0,117	0,071	0,188	60,2	37,8
PPe médio	Exponencial	0,003	0,005	0,008	72,3	62,5
CV	Exponencial	0,029	0,026	0,055	86,2	47,3

Nota: C₀ efeito pepita; C₁ contribuição; (C₀ + C₁) patamar; E = C₀ / (C₀ + C₁) coeficiente de efeito pepita.

4.4 Mapas temáticos

4.4.1 Mapas de produtividade

Pelo ajuste do modelo ao semivariograma experimental e, ainda com a krigagem ordinária, foram obtidos os mapas de contorno que descrevem a variabilidade na área estudada da variável produtividade, apresentados no Anexo A. a visualização da variabilidade espacial é, portanto, facilitada e são ilustrados o comportamento, as características ou a distribuição potencial da variável na área de interesse (Figura 17). Os mapas apresentam semelhança com os apresentados por MILANI et al. (2006).

4.4.2 Mapas de produtividade classificados

A utilização dos dados de produtividade normalizada (PN) e produtividade padronizada equivalente (PPe) permitiram a construção dos mapas apresentados nas Figuras 9 e 10. Os mapas de produtividade PN e PPe estão dispostos lado a lado de forma que as duas metodologias possam ser comparadas ano a ano.

A partir do mapa de contorno da produtividade (1998 a 2002) dos dados com adubação localizada (Figura 9) e com adubação convencional (Figura 10), pode-se verificar que, para PN, os valores classificados como médios apresentam uma área maior, o que não acontece para PPe, já que nessa metodologia os dados são separados em áreas iguais. O CV foi separado em duas classes para os dados de PN e em três para os dados de PPe; pelas Figuras 9 e 10, verifica-se que os dados apresentam uma classe única, sendo $CV > 30\%$ para PN e $10\% \leq CV \leq 30\%$ para PPe.

Durante todos os anos podemos observar que os dados não possuem diferenças quanto à localização das áreas com mais ou menos produtividade, quando comparando PN e PPe, mas diferenciam-se quanto à porcentagem de área ocupada pelas classes. Somente no ano de 2002, com adubação

convencional, pôde-se observar que os dados apresentaram uma diferença na distribuição espacial.

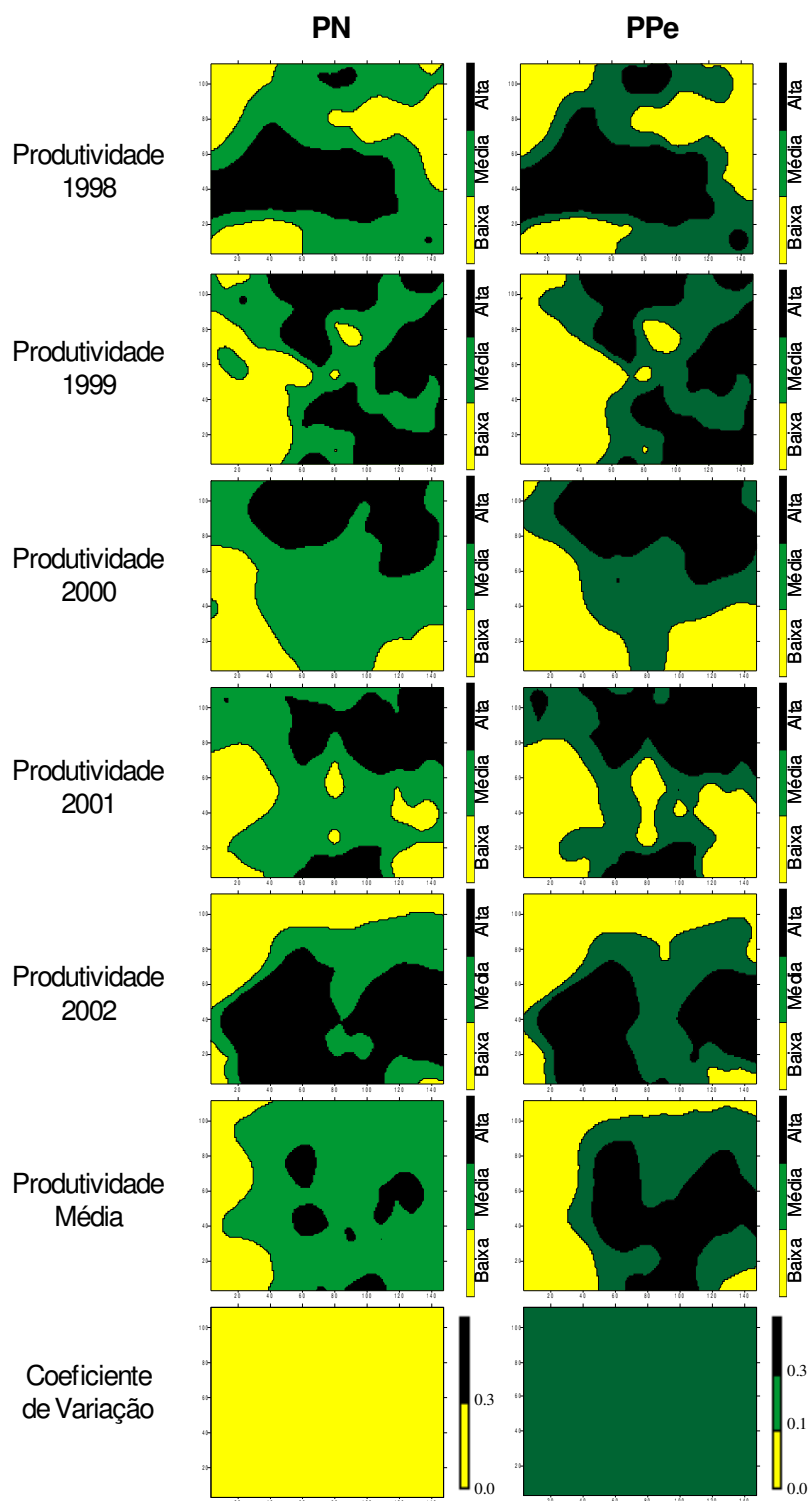


Figura 9 Mapas de comparação da produtividade normalizada (PN) e para a produtividade padronizada equivalente (PP), com adubação localizada nos anos de 98 a 2002

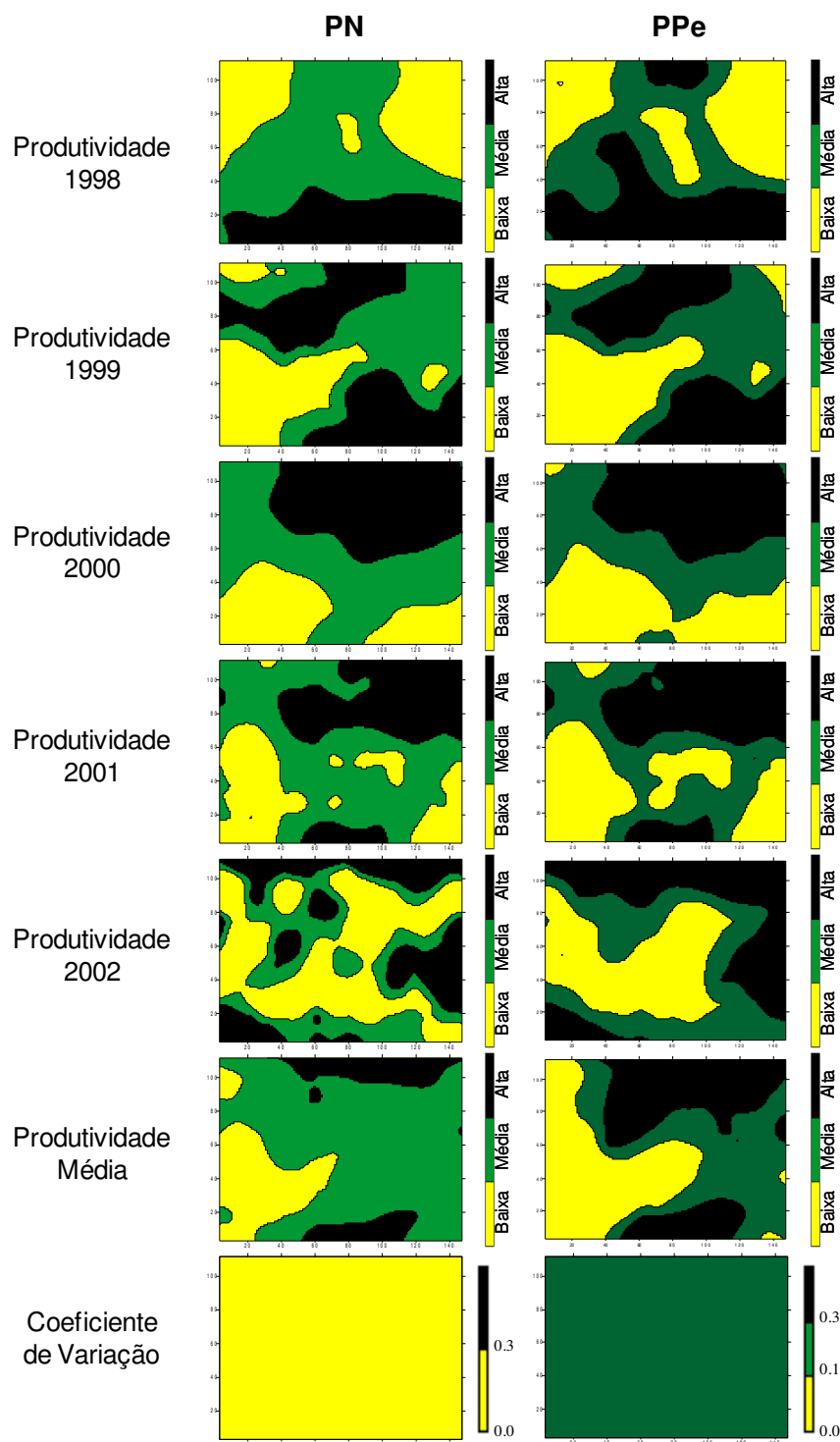


Figura 10 Mapas de comparação da produtividade normalizada (PN) e para a produtividade padronizada equivalente (PPe), com adubação convencional nos anos de 1998 a 2002

A Tabela 14 apresenta Coeficiente de Desvio Relativo - CDR e do Índice Kappa, utilizados na comparação de mapas. O CDR apresentou

melhores resultados para os dados de produtividade AL, safra de 1998 (13,3 %), e os piores resultados foram obtidos pela produtividade média AL e AC (41,0 % e 33,5 %). Pelo índice kappa verificou-se que os mapas PN e PPe obtiveram qualidade muito boa (LANDIS & KOCH, 1977); na sua maioria, apenas o mapa de comparação para a média da produtividade AL (0,320) e AC (0,492) apresentou qualidade razoável e boa, respectivamente. Já a produtividade da safra 2000, apresentou kappa igual a 0,813, que significa qualidade excelente na comparação de mapas.

Tabela 14 Coeficiente de desvio relativo e índice Kappa de concordância para os dados de produtividade sob as parcelas com adubação localizada (AL) e com adubação convencional (AC)

Variáveis		CDR	Kappa
AL	1998	13,3 %	0,784
	1999	15,8 %	0,749
	2000	19,5 %	0,702
	2001	19,3 %	0,699
	2002	19,0 %	0,707
	Média	41,0 %	0,320
AC	1998	13,4 %	0,794
	1999	14,0 %	0,780
	2000	13,5 %	0,813
	2001	14,1 %	0,784
	2002	16,6 %	0,730
	Média	33,5 %	0,492

Ao serem comparados os dados de coeficiente de desvio relativo com os do índice kappa, pode-se verificar (Figura 11) um comportamento inverso de um em relação ao outro, bem como o fato de que a explicação proporcionada pelo modelo foi de 0,99, mostrando que para realizar a comparação de mapas, pode-se utilizar qualquer um dos dois índices estudados.

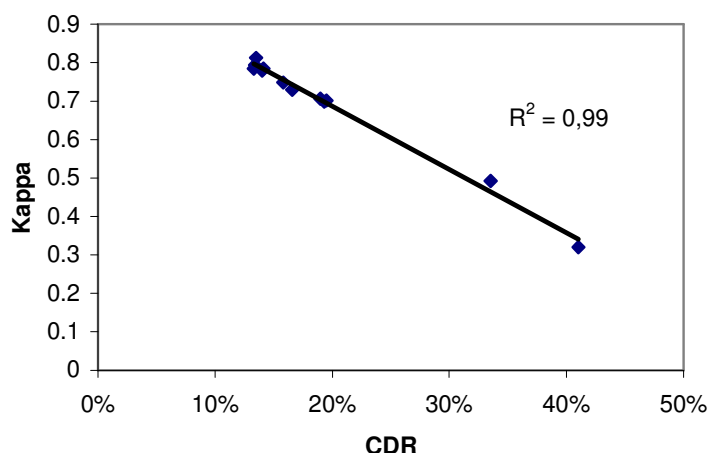


Figura 11 Gráfico para comparação entre os índices kappa e os CDR

4.5 Definição das Unidades de Manejo

4.5.1 Nove classes

A utilização da classificação de nove classes e os mapas de coeficiente de variação e produtividade padronizadas equivalente, conforme visualizado na Figura 12, permitiu a obtenção dos mapas de unidades de manejo com nove classes (Tabela 05) **com** e **sem** adubação localizada. Tanto os resultados para CV médio encontrado para os dois cultivos (AL e AC) quanto aqueles referentes à PPe foram classificados como alto, médio e baixo. Mas, essa classificação gerou apenas três classes nos mapas de unidade de manejo (Figura 12), pois o CV, apesar da classificação, apresentou somente uma classe (CV Médio). Os resultados com nove classes não serão utilizados para comparar com a metodologia da produtividade normalizada devido ao grande número de classes.

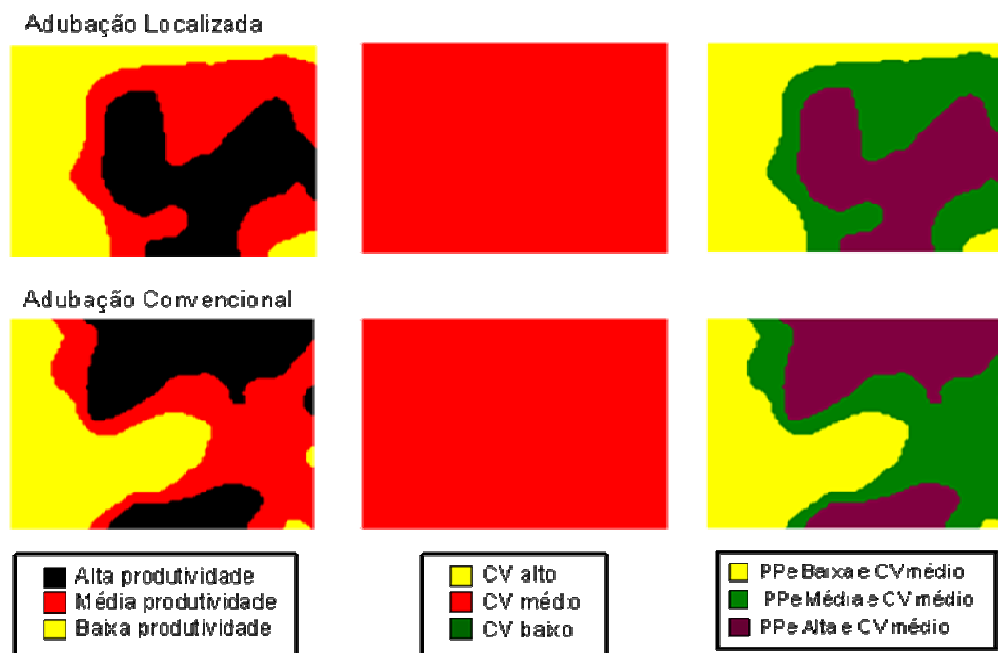


Figura 12 Definição das unidades de manejo em nove classes a partir dos mapas de produtividade padronizada equivalente (PPe) e CV utilizando adubação localizada (AL) e adubação convencional (AC).

4.5.2 Quatro e seis classes

Para melhor avaliação das metodologias propostas, foram adotadas as chaves de classificação de quatro (Tabelas 3 e 6) e seis classes (Tabelas 4 e 7) que diferem entre si pelo número de classes adotado para o CV, pois na classificação por quatro classes, a produtividade que apresentou o CV alto é agrupada em uma classe. Entretanto, as duas classificações apresentaram o mesmo comportamento, pois os mapas gerados a partir do CV apresentaram igualdade, pois foi classificado inteiramente como baixo (< 30%), o que ocasionou uma coincidência entre os mapas conforme pode ser visualizado nas Figuras 13 e 14.

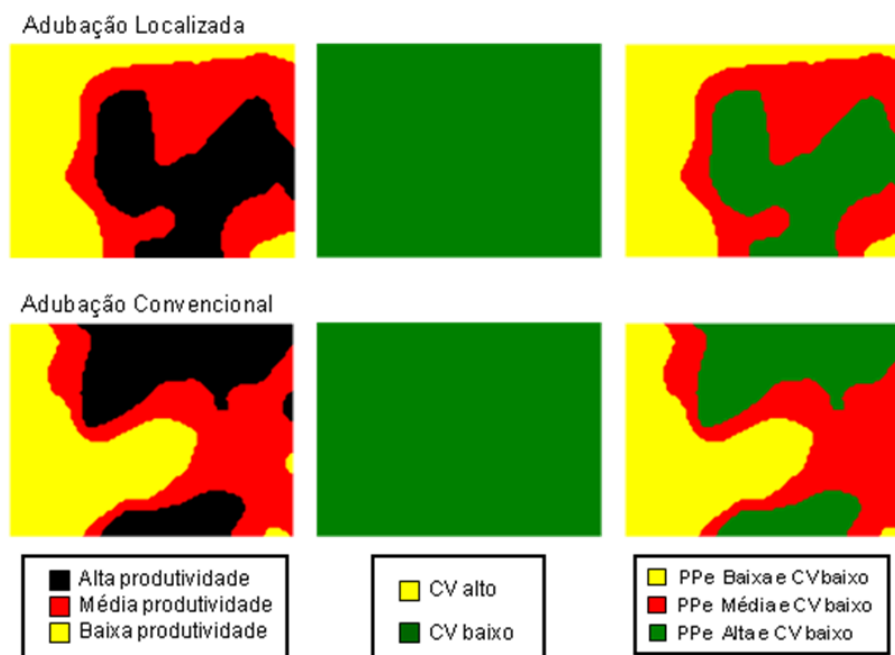


Figura 13 Definição das unidades de manejo com quatro e seis classes a partir dos mapas de produtividade normalizada (PN) e CV para adubação localizada (AL) e adubação convencional (AC).

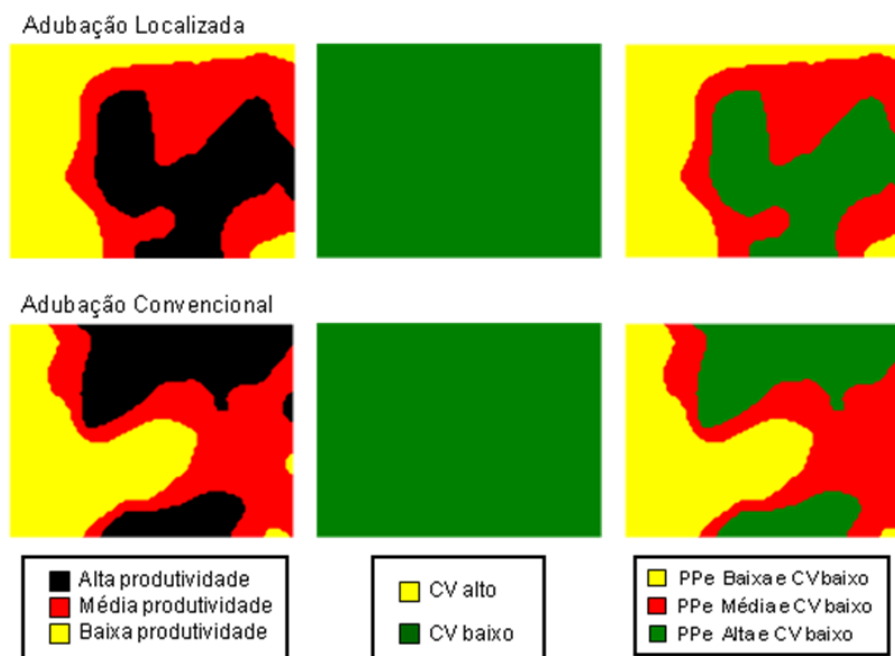


Figura 14 Definição das unidades de manejo com quatro e seis classes a partir dos mapas de produtividade padronizada equivalente (PPe) e CV para adubação localizada (AL) e adubação convencional (AC)

As duas metodologias apresentam variações quanto à área representativa de cada classe (Tabela 15). E, apesar das duas classificações utilizarem as mesmas classes para quatro classes (Tabelas 3 e 6) e para seis classes (Tabelas 4 e 7), elas adotam diferentes classificações para a produtividade (Figura 15).

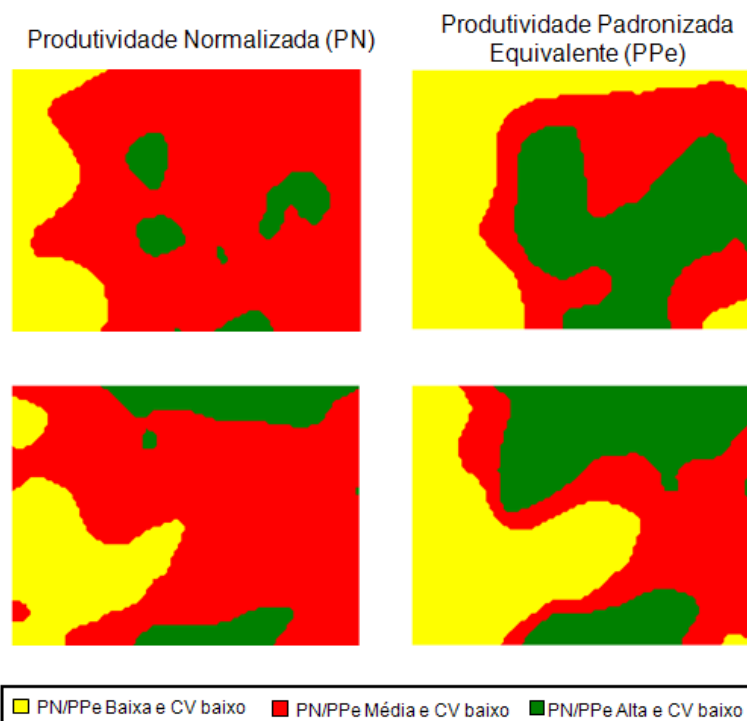


Figura 15 Definição das unidades de manejo a partir dos mapas de produtividade normalizada e produtividade padronizada equivalente (PPe) para cultivo AL e AC, com 4 e 6 classes de classificação.

Como os mapas de contorno para PN foram classificados pela porcentagem em relação à média, verificou-se que na representação das classes que se mostrou com áreas diferenciadas (umas maiores que as outras), uma das classes (produtividade média e CV baixo) apresentou 74% (AL) e 67% (AC) da área total do mapa. Isso não aconteceu na PPe, pois as áreas foram divididas em classes com mesma porcentagem de área (33%).

Tabela 15 Percentual de área ocupada em cada classe de classificação das unidades de manejo, para os mapas de contorno de adubação localizada e convencional

Metodologia	Tipo de adubação	Classificação da produtividade	Classificação do CV	Percentual de área ocupada
PPe	AL	baixo	baixo	33
		médio	baixo	34
		alto	baixo	33
PPe	AC	baixo	baixo	33
		médio	baixo	34
		alto	baixo	33
PP	AL	baixo	baixo	8,8
		médio	baixo	74
		alto	baixo	17
PP	AC	baixo	baixo	14
		médio	baixo	67
		alto	baixo	19

Os percentuais de CDR encontrados para a comparação das metodologias descritas foram de 56,2 % e 41,0% (Tabela 16) para os cultivos AL e AC, respectivamente. Ou seja, 56,2 % do mapa de produtividade normalizada sob cultivo com adubação localizada não coincidiram com o mapa de produtividade padronizada equivalente também sob cultivo AL. A Tabela 16 mostra que o cultivo com adubação localizada apresentou menor estimativa do coeficiente Kappa, sendo esse resultado consistente com aqueles obtidos pelo CDR, que avaliou como melhor a concordância entre os mapas sob cultivo com adubação convencional. Segundo a classificação de LANDIS & KOCH (1977), as concordâncias dos mapas podem ser avaliadas como sendo de boa (AC) e razoável (AL) qualidade, conforme Tabela 08.

Tabela 16 Coeficiente de desvio relativo (CDR) e índice kappa de concordância para os dados agrupados em zonas de manejo para AL e AC

Cultivo	Nº de Classes	CDR	Kappa
AL	4 ou 6 Classes	56,2 %	0,387
AC	4 ou 6 Classes	41,0 %	0,499

5 CONCLUSÕES

- A metodologia proposta para cálculo da produtividade padronizada equivalente mostrou-se eficiente por permitir, ao mesmo tempo, a padronização dos dados usando escore padrão e o coeficiente de variação (CV) da variável.
- Os dois métodos de definição de unidades de manejo, utilizando a produtividade normalizada e a produtividade padronizada equivalente, mostraram-se eficientes e apresentaram semelhanças na disposição dos dados. Devido à produtividade padronizada equivalente utilizar escore padrão ela contempla uma melhor justificativa estatística.
- Os dados analisados não mostram diferenças significativas quanto à representação dos mapas em 4 ou 6 classes, devido ao CV, que resultou nos mapas de unidades de manejo, apresentar-se baixo.

6 SUGESTÕES

A referida pesquisa deixa como proposta novos trabalhos como a utilização desse processo em um conjunto maior de dados e com maior variabilidade, para que as unidades de manejo resultem em uma maior diversificação das classes e uma conseqüente melhor visualização das duas metodologias propostas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

AVELLAR, G.; FRANÇA, G.E.; OLIVEIRA, A.C.; MANTOVANI, E.C. Uso de SIG's no delineamento de zonas de manejo para uso agrícola. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2, 2002, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2002.

BALASTREIRE, L.A. ELIAS, A.I. e AMARAL, J.R. do. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade da cultura do milho. **Revista Engenharia rural**, Piracicaba, v. 8, p. 97-111. 1997.

BALASTREIRE, L.A. Agricultura de Precisão em Café. **Máquinas**. n.25. p.28-31. 2003.

BLACKMORE, S. The interpretation of trends from multiple yield maps. **Computers and electronics in agriculture**, Orlando, v.26, p.37-51, 2000.

BROOKERS, P. I. A geostatistical primer. Londres, Ed. World Scientific, 1991. 95p.

BROOS, B.; MISSOTTEN, B.; REYBROUCK, S. de; BAERDEMAEKER, J. Mapping and interpretation of sugar yield differences. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4, St. Paul. **Proceedings...** Madison: American Society of Agronomy. Part A, p.171-81, 1999.

BURROUGH, P. A. Principles of geographical information systems for land resource assessment. New York, Oxford University Press, 1986. 531p.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E.D.; SANO, E.E. (ed) **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2.ed. Brasília: Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados – Embrapa. p.3-11, 1998a.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. Mapas e suas representações computacionais. In: ASSAS, E.D.; DANO, E.E. (ed.) **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura.: aplicações na agricultura**. 2.ed. Brasília: Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados – Embrapa. p.13-29, 1998b.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil science society of American Journal.**, v.58, p.1501-11, 1994.

CAPELLI, N. L. **Agricultura de precisão – novas tecnologias para o processo produtivo**. (2000) Disponível em: <<http://www.cria.org.br/gip/gipap/capelli.htm>>. Acesso em: 08 de dezembro 2005.

COELHO, E. C. **Influência da densidade amostral e do tipo de interpolador na elaboração de mapas temáticos**. Cascavel, PR, 2006. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

COHEN, J. **A coefficient of agreement for nominal scales**. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1):37-46, 1960.

COLVIN, T.S.; JAYNES, D.B.; KARLEN, D.L.; LAIRD, D.A.; AMBUEL J.R. Yield variability within a central Iowa field. **International Journal of the American Society of Agricultural and Biological Engineers**, St. Joseph, v. 40, n. 4, p. 883-889, 1997.

CONGALTON, R.G. A comparison of sampling schemes used in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.54, n., p.593-600, 1988.

CONGALTON, R.G.; GREEN, K. A practical look at sources of confusion in error matrix generation. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Mariland, v. 59, n. 5, p. 641-644, 1993.

COODETEC. Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola (Centro de Pesquisa Eloy Gomes). **Área agrícola**. Disponível em: <http://www.coodetec.com.br/empresa.asp>. Acesso em: 04 de dezembro de 2006.

CRESSIE, N. A.; HAWKINS, D. M. Robust estimation of the variogram. **Mathematical Geology**, New York, v.12, n.2, p.115-125.1980.

CRESSIE, N. A. Statistics for spatial data. Wiley Series in probability and mathematical statistics, New York: John Wiley & Sons, 1993. 900p.

DAINESE, R.C.; ADAMI, M.; MOLIN, J.P.; MOREIRA, M. A. Uso do Spring no processamento de dados de fertilidade do solo para uso em agricultura de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, XI, 2003, Belo horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBSR. p.51-58. 2003.

DAMPNEY, P. M. R.; MOORE, M. Precision agriculture in England: Current practice and research-based advice to farmers. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4, 1998, St. Paul. **Proceedings...** Madison: American Society of Agronomy. Part A, p.661-73.1999.

DENT, B.D. **Principles of thematic map design**. Reading: Addison-Wesley, 1985. 398 p.

DIGGLE, P. J.; RIBEIRO JÚNIOR, P. J. Model-based geostatistics. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA, 14., 2000, Caxambu. Anais Caxambu: SINAPE, 2000. 192 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Sistema Brasileiro**

de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412 p.

ENGLUND, E.; SPARKS, A. Geo-EAS (Geoestatistical Environmental Assessment Software). Las Vegas: U.S. Environmental Protection Agency. 1. v. 1988.

FARNHAM, D. E. Site-specific crop management: what have we learned and where do we go from here? Ames: Iowa State University-Department of Agronomy. 6 p. 2000.

FRAISSE, C.W.; SUDDUTH, K.A.; KITCHEN, N.R. Delineation of site-specific management zones by unsupervised classification of topographic attributes and soil electrical conductivity. **International Journal of the American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v.44, n.1, p.155–166. 2001.

FRAZEN, D. W., PECK, T. R. Field soil sampling density for variable rate fertilization. **Journal of Production Agriculture**, v. 8, p. 568-574. 1995.

FREITAS, V. A. de. **Análise de dados espaciais por meio de semivariogramas.** 2000. 30 f. Monografia (Graduação em Matemática) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental.** 14. ed. Piracicaba: USP/ESALQ, 2000. 477 p.

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

GOOGLE EARTH. **Google Earth (Release 4 - BETA).** Disponível em: <http://earth.google.com/earth4.html>. Acesso em: 15 de dezembro de 2006.

GOTWAY, C. A., HARTFORD, A. H. Geostatistical methods for incorporating auxiliary information in the prediction of spatial variables. *J. Agri., Biol. Environ. Statistics*, v. 1, p. 17-39, 1996.

HOSSEINI, E., GALLICHAND, J., CARON, J. Comparison of several interpolators for smoothing hydraulic conductivity data in south west Iran. *Transl. ASAE*, v. 36, p. 1687-1693, 1993.

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

JOURNEL, A.G. *Fundamentals of geostatistics in five lessons.* California, Stanford Center for Reservoir Forecasting Applied Earth Sciences Department, 1988.

JOURNEL, A.G.; HUIJBREGTS, Ch.J. *Mining Geostatistics.* London: Academic Press, 1978. 600 p.

KÖPPEN, W.P. **Climatologia, con un studio de los climas de la tierra.** Mexico: Fondo de Cultura Econômica, 1948. 478p.

KRAVCHENKO, A. N.; BULLOCK, D. G. A comparative study of interpolation methods for mapping properties. **Agronomy Journal**, v. 91, p. 393-400. 1999.

KUHAR, J.E.(ed) **The precision-farming guide for agriculturists.** Moline, 1997. 117p.

LAM, N. Spatial interpolation methods. *The American Cartographer*, v. 10, p. 129-149, 1983.

LAMPARELLI, R. A. C.; ROCHA, J. V.; BORGHI, E. **Geoprocessamento e agricultura de precisão.** Fundamentos e aplicações. Rio Grande do Sul: Agropecuária, 2001. 118 p.

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

LANDIS, J.; KOCH, G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33, p.159-174, 1977.

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

MASCARIN, L.S. **Caracterização de sistemas de colheita e desenvolvimento de técnica para a obtenção de mapas de produtividade para citros.** Piracicaba, 2006. 78f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, Littleton, v. 58, p.1246-1266, 1963.

MELLO, J. M.; BATISTA, J. L. F. ; OLIVEIRA, M. S. ; RIBEIRO JR, P. J. . Estudo da dependência espacial de características dendrométricas para *Eucalyptus grandis*. *Cerne*, Lavras, MG, Brasil, v. 11, n. 2, p. 113-126, 2005.

MILANI, L. **Determinação de unidade de manejo em área de soja cultivada utilizando técnicas de agricultura de precisão.** Cascavel, PR, 2005. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

MILANI, L.; SOUZA E. G.; URIBE-OPAZO, M.A.; GABRIEL FILHO, A.; JOHANN, J. A.; PEREIRA J.O. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.28, n. 4, p. 591-598, 2006.

MIRANDA, J.I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas.** Brasília: Embrapa, 2005. 425 p.

MOLIN, J. P. **Agricultura de Precisão: O gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba, SP, 2001. 83 p.

MOLIN, J.P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, v. 22, n. 1, p. 83-92, 2002.

MYERS, D. E. Interpolation and estimation with spatially located data. *Intell. Lab. Syst.*, v. 11, p. 209-228, 1991.

OLIVER, M.A. Exploring soil spatial variation geostatistically. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2, 1999. Odense. **Proceedings...** Silsoe: Sheffield. p.3-18. 1999.

OLIVEIRA, M. S. Planos amostrais para variáveis espaciais utilizando geoestatística. 1991. 100 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

RIBEIRO JÚNIOR, P.J. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo**. Piracicaba, 1995. 99f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Estatística e Experimentação Agrônômica) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

RODRIGUES, J. B. T. **Variabilidade espacial e correlações entre atributos de solo e produtividade na agricultura de precisão**. Botucatu - SP, 2002. 126 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista.

RODRIGUES, J. B. T. ; ZIMBACK, C. R. L. Delimitação de zonas de manejo através da análise e classificação de mapas de produtividade de milho e soja.. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 17, n. 1, p. 44-61, 2002.

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

SOUZA, E. G.; JOHANN, J. A.; ROCHA, J. V.; RIBEIRO, S. R. A.; SILVA, M. S.; URIBE-OPAZO, M. A.; MOLIN, J. P.; OLIVEIRA, E. F.; NÓBREGA, L. H. P. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo em um Latossolo roxo Distrófico da região de Cascavel – PR. **Revista da Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola**. Jaboticabal-SP, v. 18, n.3, p.80-92, 1999.

STAFFORD, J.V.; AMBLER, B. In-field location using GPS for spatially variable field operation. **Computers and Eletronics in Agriculture**, v.11, p.23-36, 1994.

STAFFORD, J. V.; AMBLER, B.; LARK, R. M.; CATT, J. mapping and interpreting yield variation in cereal crops. **Computers and Eletronics in Agriculture**, v.14, p.101-19, 1996.

SUDDUTH, K.A.; DRUMMOND, S.T.; BIRRELL, S.J.; KITCHEN, N.R. Spatial modeling of crop yield using soil and topographic data. *In* STAFFORD J.V. (ed.) **Precision agriculture '97**. Proc. Eur. Conf. on Precision Agric., Warwick Univ. Conf. Cent., London. v.1. p. 439–447. 1997.

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

VIEIRA, S.R. Uso da geoestatística em estudos de variabilidade espacial. In: **Curso de Atualização em Conservação do Solo**. Campinas: IAC, 1995. 61p.

VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo roxo de Campinas(SP). *Bragantia*, vol. 56, n. 1, Conservação do solo, VIII: 1-13. Campinas, 1997.

VIEIRA, S.R. Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. In: **GIS Brasil' 98**, Curitiba, PR: Sagres, 1998, 53 p.

VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. In: BORÉM, A. et al. (ed.). **Agricultura de precisão**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. p.93-108. 2000.

ZIMBACK, C. R. L. **Geoestatística**. Botucatu: Grupo de estudos e pesquisas agrárias georreferenciadas, UNESP, 2003. 25 p.

YOST, R. S., UEHARA, G., FOX, R. L. Geostatistical analysis of soil chemical properties of large land areas. II. Kriging. *Mathematical geology*, v. 46, p. 10-33-1037, 1982.

WEISZ, R. S.; FLEISCHER, S.; SMILOWITZ, Z. Map generation in high-value horticultural integrated pest management: Appropriate interpolation methods for site-specific pest management of Colorado potato beetle. **Journal of Economic Entomology**, v. 88, p. 1650-1657, 1995.

WILLIS, P. R.; CARTER, P. G.; JOHANNSEN, C. J. Assessing yield parameters by remote sensing techniques. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4, 1998, St. Paul. **Proceedings...** Madison: American Society of Agronomy. Part A, p.1465-73. 1999.

ANEXOS

ANEXO A

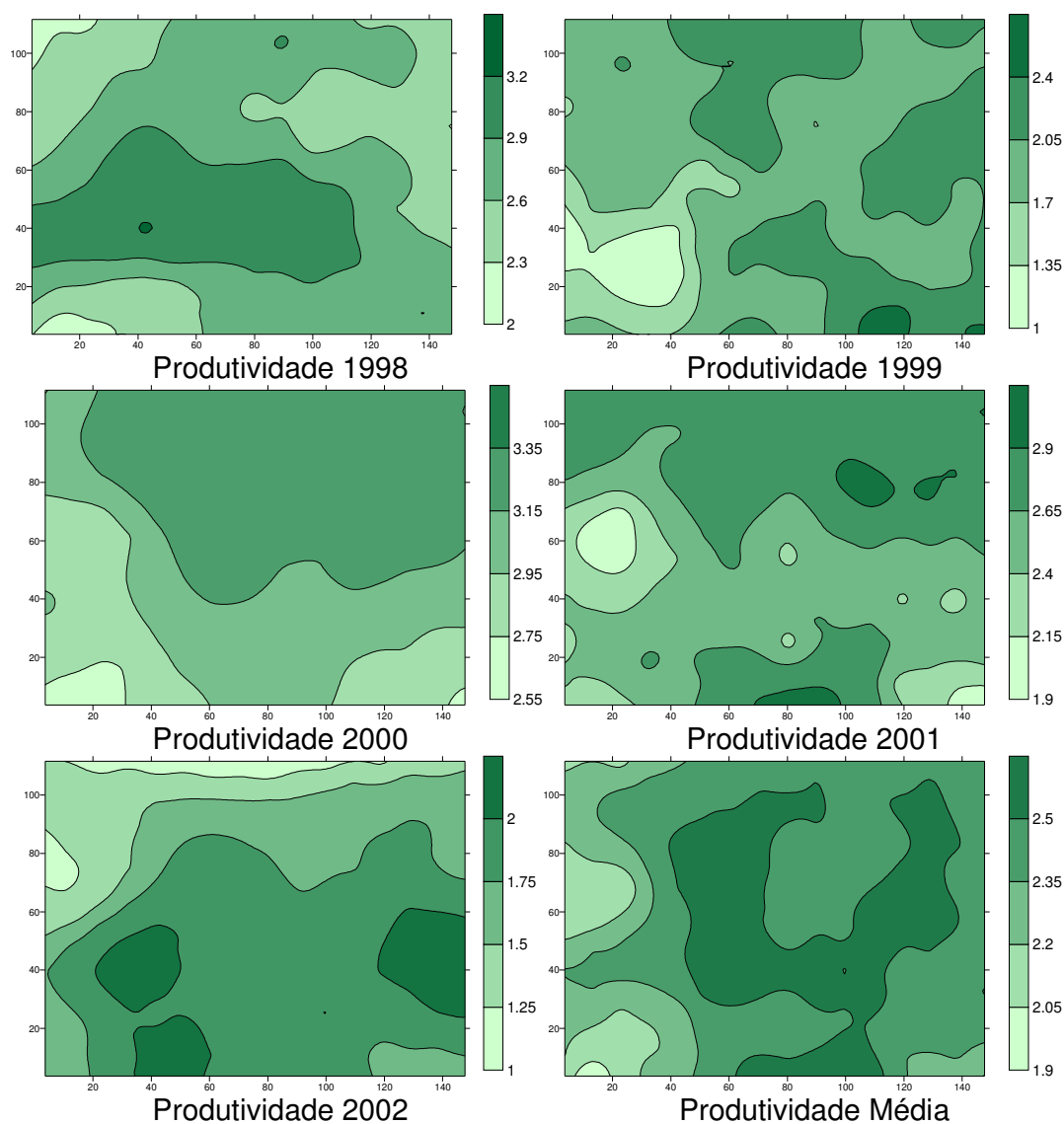


Figura 16 Mapas de contorno da produtividade da soja com Adubação localizada nos anos de 1998 a 2002

ANEXO B

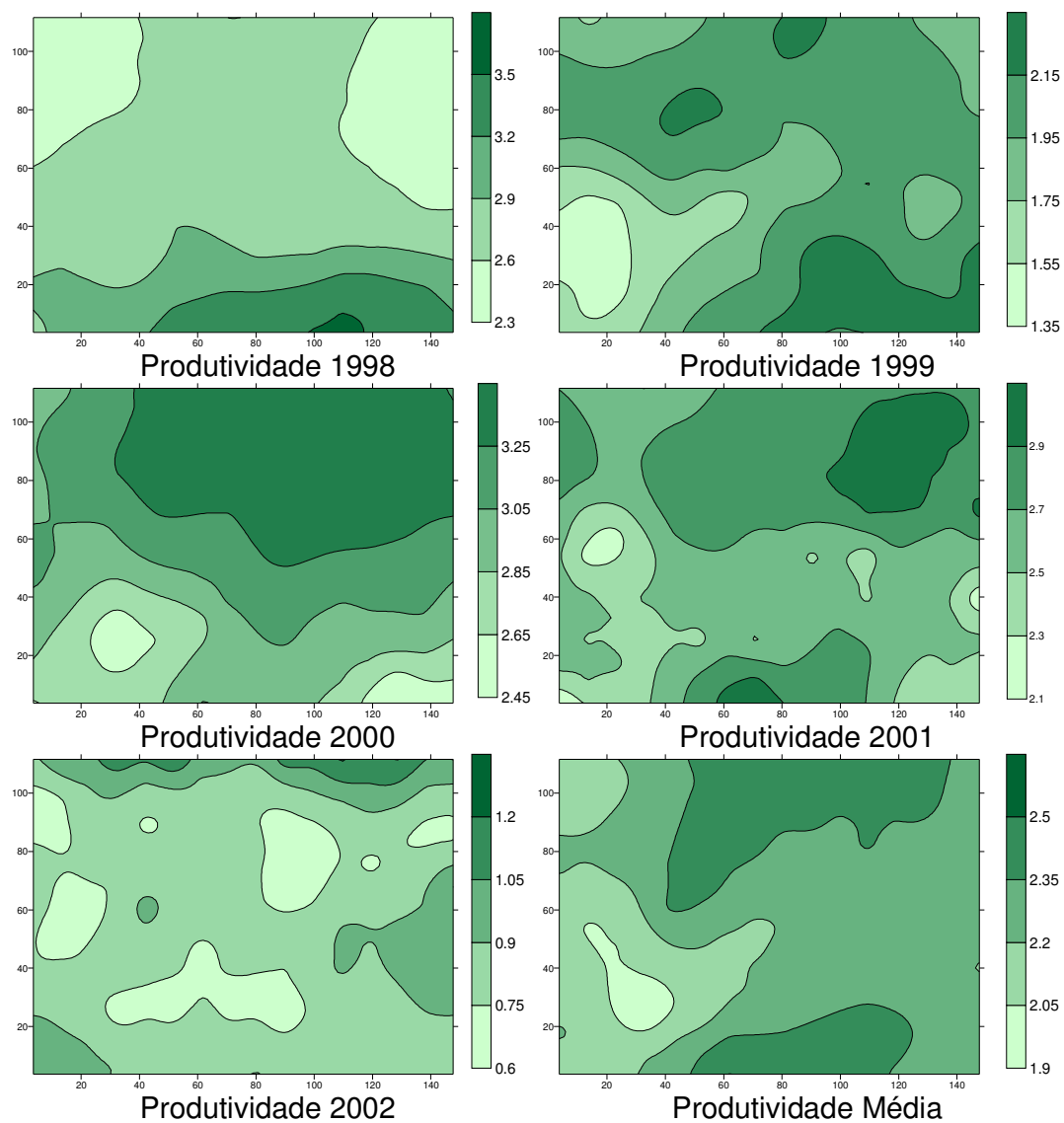


Figura 17 Mapas de contorno da produtividade da soja Adubação convencional nos anos de 1998 a 2002

ANEXO C

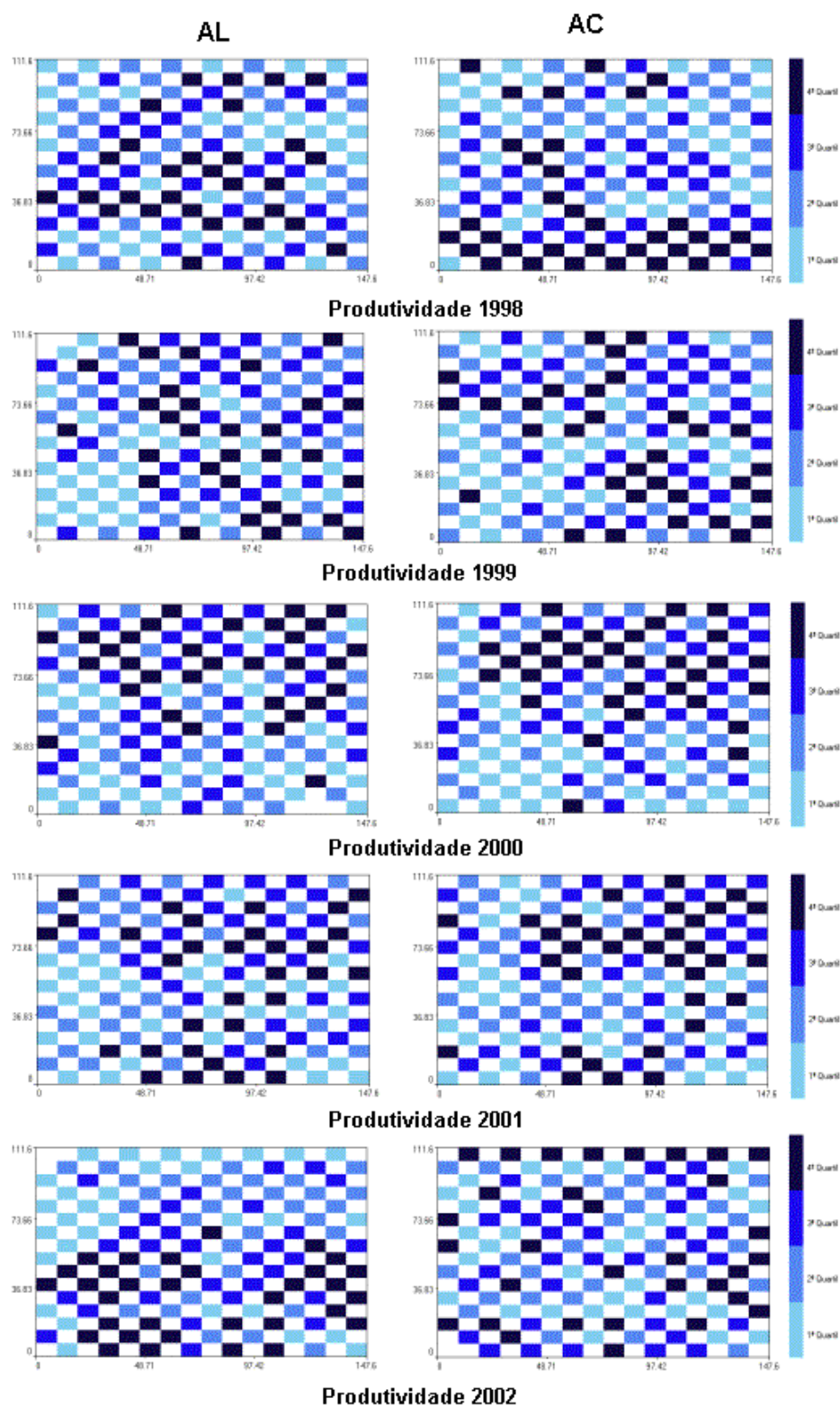


Figura 18 Post-plot dos dados de produtividade da soja Adubação localizada e convencional para os anos de 1998 a 2002