

## Variação do Espaçamento entre Faixas de Colheita na Geração de Mapas de Produtividade





*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Cerrados  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1676-918X

Setembro, 2003

# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 90***

## **Variação do Espaçamento entre Faixas de Colheita na Geração de Mapas de Produtividade**

Luciano Shozo Shiratsuchi  
Antônio Lilles Tavares Machado

Planaltina, DF  
2003

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Cerrados**

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina - DF

Fone: (61) 388-9898

Fax: (61) 388-9879

http\www.cpac.embrapa.br

sac@cpac.embrapa.br

**Comitê de Publicações**

Presidente: *Dimas Vital Siqueira Resck*

Editor Técnico: *Carlos Roberto Spehar*

Secretária-Executiva: *Nilda Maria da Cunha Sette*

Supervisão editorial: *Jaime Arbués Carneiro*

Revisão de texto: *Jaime Arbués Carneiro*

Normalização bibliográfica: *Rosângela Lacerda de Castro*

Tratamento de ilustrações: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Capa: *Chaile Cherne Soares Evangelista*

Editoração eletrônica: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Impressão e acabamento: *Divino Batista de Souza*  
*Jaime Arbués Carneiro*

Impresso no Serviço Gráfico da Embrapa Cerrados

**1ª edição**

1ª impressão (2003): tiragem 100 exemplares

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

CIP-Brasil. Catalogação-na-publicação.  
Embrapa Cerrados.

---

S558v Shiratsuchi, Luciano Shozo.

Variação do espaçamento entre faixas de colheita na geração de mapas de produtividade / Luciano Shozo Shiratsuchi, Antônio Lilles Tavares Machado. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2003.

25 p. — (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Cerrados, ISSN 1676-918X ; 90)

1. Mapa - produtividade. 2. Espaçamento. 3. Colheita. 4. Milho.  
I. Machado, Antônio Lilles Tavares. II. Título. III. Série.

526 - CDD 21

---

© Embrapa 2003

# Sumário

Resumo .....	5
Abstract .....	6
Introdução .....	7
Material e Métodos .....	8
Local do experimento .....	8
Equipamentos e materiais .....	8
Condições de colheita .....	9
Processamento e filtragem de erros dos dados .....	9
Metodologia de geração de mapas .....	10
Metodologia de média circular na faixa de colheita (MCF) .....	11
Análises geoestatísticas .....	12
Análises de correlação linear .....	13
Resultados e Discussão .....	13
Análise estatística .....	13
Análise de dependência espacial e correlação entre os mapas .....	14
Análise dos mapas de produtividade .....	18
Conclusão .....	24
Referências Bibliográficas .....	24

# Variação do Espaçamento entre Faixas de Colheita na Geração de Mapas de Produtividade

*Luciano Shozo Shiratsuchi*<sup>1</sup>

*Antônio Lilles Tavares Machado*<sup>2</sup>

**Resumo** - Este trabalho avaliou o efeito do espaçamento entre faixas de colheita na geração de mapas de produtividade da cultura de milho. Avaliou-se a correlação existente entre um mapa confeccionado a partir da colheita da área total (referência) e outros 5 mapas, onde foram retiradas 2, 4, 6, 8 e 10 faixas de colheita. O mapa referência foi confeccionado a partir da interpolação por krigagem sem a retirada de faixas de colheita. Foram utilizados dois métodos de interpolação (krigagem e inverso da distância) com aplicação e sem a aplicação de Média Circular na Faixa (MCF) antes da geração dos mapas. A correlação entre os mapas foi feita utilizando-se os métodos de correlação de Pearson e Spearman rank. Concluiu-se que para a cultura de milho, nessa área agrícola, uma colheita monitorada pode ser realizada pulando-se até 6 faixas de 5,6m na colheita em anos posteriores se o mapa for gerado por krigagem e houver a aplicação da metodologia MCF. Utilizando-se a metodologia MCF seguida da interpolação pelo inverso da distância recomenda-se pular no máximo 4 faixas de colheita. Sem utilizar a metodologia MCF antes da interpolação pelo inverso da distância o mapa gerado tem alta probabilidade de não representar adequadamente a variabilidade da produtividade.

Termos para indexação: método de colheita, distância entre passadas, zonas de manejo, interpolação.

<sup>1</sup> Eng. agrôn., M.Sc., Embrapa Cerrados, shozo@cpac.embrapa.br

<sup>2</sup> Eng. agríc., D.Sc., Universidade Federal de Pelotas – FAEM,

# Corn Yield Maps Generating: Effect of Combine Header Width

---

**Abstract** - *This work aimed to evaluate the effect of combine header width in corn harvest to generate corn yield maps. Linear correlation was generated for the total harvest and five maps generated by 2, 4, 6, 8 e 10 combine header width. The reference map was generated by kriging interpolation with data collected by the yield monitor. Ordinary point kriging and optimal inverse distance weighting interpolations were used to generate the maps with and without Circular Mean Diameter (CMD). This uses 80% of combine header width as a circular mean diameter for yield data to generate sampling grid. Pearson and Spearman rank correlations were used to compare all maps. It was concluded that it is possible to generate corn yield maps with six times the distance of combine header in this cornfield in the following when CMD was applied before kriging interpolation. A reliable map can be generated with a distance of four-combine header, using CMD and inverse distance weighting interpolation. Without using CMD method before the inverse distance weighting interpolation there is a high probability of erroneous yield variation in this area.*

*Index terms: harvest method, harvest line width, management zones, interpolation methods comparison.*

## Introdução

Com o aumento da competitividade na área agrícola decorrente de uma globalização de mercados, a adoção de ferramentas gerenciais mais eficazes no meio rural tornou-se essencial. Entre essas a Agricultura de Precisão vem a preencher essa lacuna tecnológica utilizando vários equipamentos, instrumentos e softwares empregados há vários anos em outras áreas, podendo-se citar como exemplo o Sistema de Posicionamento Global (GPS), imagens de satélites, fotografias aéreas, softwares de Sistema de Informações Geográficas (SIG), geoestatística e modelagem.

Um dos questionamentos sobre a adoção de ferramentas da Agricultura de Precisão está no custo de aquisição e depreciação dos equipamentos utilizados. Entre esses equipamentos, os essenciais nas culturas de grãos são os sensores e monitores de produtividade, utilizados na geração de mapas de produtividade após a colheita, pois esses mapas são os aferidores de qualquer atitude de manejo agrônômico localizado adotado na área. Segundo alguns autores ([Makepeace, 1996](#); [Molin, 2000](#)) os mapas de produtividade possibilitam a visualização da resposta da cultura e na maioria dos casos são essenciais.

Até o momento para a geração de mapas de produtividade, todas as colhedoras devem possuir a instrumentação embarcada, isto é, sensores, monitores e GPS. Porém, alguns agricultores observaram que quando se pulava algumas passadas da colhedora instrumentada para otimizar o rendimento operacional da mesma no mapeamento da produtividade, não se perdiam as grandes tendências do mapa de produtividade. Dessa forma, alguns agricultores no Brasil já colhem suas áreas com colhedoras instrumentadas associadas a outras sem a instrumentação embarcada, gerando mapas de grandes tendências de produtividade.

Existem algumas pesquisas feitas com o objetivo de identificar de erros na configuração do tamanho da plataforma de colheita no monitor de produtividade e a produtividade de grãos colhidos gravados. Um método chamado Multiple Purpose Grid Mapping (MPGM) proposto por [Taylor et al. \(2000\)](#) não encontrou diferença ao se comparar tamanho de grades de 2 a 4 vezes a largura da plataforma, e segundo os autores uma grade de 2 vezes a largura da plataforma não compromete o detalhe de informação do mapa de produtividade e também diminui a quantidade de dados coletados e armazenados eletronicamente.

Atualmente o manejo localizado adotado na prática pelos agricultores que não possuem maquinário instrumentado para aplicação variável de insumos é a demarcação das áreas em grandes Zonas de Manejo, utilizando-se em seguida o maquinário disponível na propriedade para aplicação variável. Esse conceito de Zonas de Manejo, segundo [Doerge \(2003\)](#) é uma sub-região de um campo que expressa uma combinação de fatores limitantes aos quais uma única dose de um insumo é necessário.

Aumentando a distância entre faixas de colheita uma colhedora instrumentada consegue monitorar uma quantidade maior de área agrícola, portanto, qual a distância entre faixas máxima que se pode utilizar de tal forma que o mapa gerado preserve as informações, possibilitando o trabalho em grandes Zonas de Manejo?

Este trabalho teve o objetivo de testar o efeito do espaçamento entre faixas de colheita na geração de mapas de produtividade para a cultura de milho.

## Material e Métodos

### Local do experimento

Para este estudo foram utilizados os dados de produtividade da colheita da cultura de milho realizada na fazenda Maria das Águas Santas, localizada no Município de Luís Eduardo Magalhães – BA, Região Nordeste do ecossistema Cerrado. A cultura foi conduzida, em irrigação por aspersão utilizando pivô-central, numa área de 100 ha. Dessa área total foi escolhido para o estudo uma subárea de 27,47 ha onde houve uma melhor condição operacional da colhedora. Nessa subárea houve uma velocidade de colheita mais constante, pré-calibração do sensor de produtividade, baixa infestação de plantas daninhas e maior variabilidade espacial da produtividade.

### Equipamentos e materiais

Na colheita utilizou-se uma colhedora automotriz da marca AGCO®, modelo MF 38®, plataforma de milho Vence Tudo®, modelo 7LM, com 7 fileiras de plantio espaçadas de 0,80 m. A cultura possuía uma população de plantas aproximada de 66.000 plantas/ha.

A colhedora era equipada de fábrica com sensores de produtividade e monitor de produtividade (Datavision/Fieldstar®). Para o georreferenciamento da colheita foi utilizado um equipamento GPS com correção diferencial via satélite.

A gravação dos dados na colheita foi feita num cartão de memória PCMCIA e em seguida os dados foram descarregados para o processamento em um software de Sistema de Informações Geográficas (SIG) específico denominado Arc View 3.2<sup>®</sup>.

## Condições de colheita

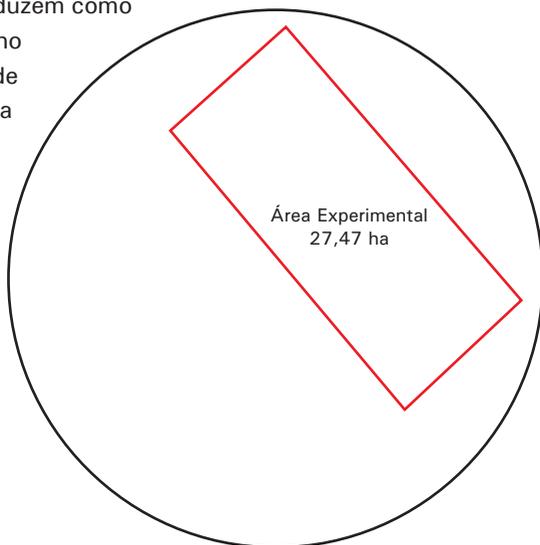
A colheita foi realizada no dia 3 de junho de 2003, a área escolhida para o estudo foi colhida totalmente no mesmo dia em condições climáticas ótimas. A área possuía um relevo plano com 2% de declividade do ponto mais alto para o mais baixo dentro da área experimental.

A velocidade de colheita variou de 4,43 – 6,64 km/h com uma coleta de 9.628 dados pontuais de monitoramento de produtividade, obtendo-se uma densidade de coleta de 350 pontos / ha. Nessa densidade de coleta cada ponto representou aproximadamente 28 m<sup>2</sup> de área colhida.

## Processamento e filtragem de erros dos dados

Procurou-se durante o trabalho, evitar os erros ocasionados do tempo de enchimento da colhedora e também os decorrentes de manobras de cabeceiras, os quais surgem devido ao não desacionamento do sistema de gravação de dados pelo operador nas manobras. Para evitar o primeiro tipo de erro, fez-se todo descarregamento fora da área experimental (Figura 1).

Esses erros normalmente se traduzem como pontos de baixa produtividade no início do talhão, onde na verdade não houve a entrada de grãos na colhedora.



**Figura 1.** Área experimental de 27,47 ha utilizada para estudo de geração dos mapas de produtividade da cultura de milho.

Antes da análise dos dados de produtividade no SIG, foi realizada uma análise da qualidade dos dados. Para isso removeu-se os erros grosseiros de posicionamento, retirou-se os pontos com valores de produtividade absurdos, nulos ou com ausência de sinal GPS, segundo metodologia descrita por [Menegatti \(2002\)](#). A partir daí foi feita uma análise exploratória e a aplicação de remoção de pontos discrepantes utilizando a técnica dos quartis, segundo método descrito por [Tukey \(1977\)](#).

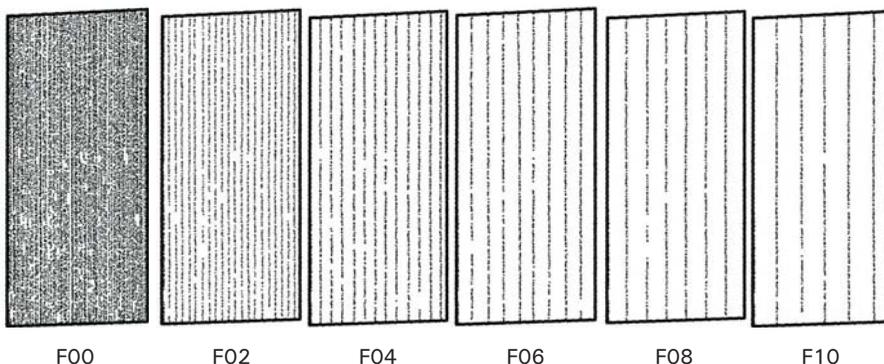
## Metodologia de geração de mapas

A referência para a comparação foi o mapa de produtividade gerado pelos dados provenientes da colheita da área total selecionada (27 ha). Os dados brutos pontuais obtidos durante a colheita (depois da identificação e remoção dos erros) foram submetidos a uma análise de dependência espacial. Para isso utilizou-se a geoestatística interpolando os dados por krigagem ordinária (que utiliza um interpolador com variância mínima e não tendencioso). Espera-se com isso obter um mapa interpolado confiável já que no sistema de mapeamento de colheita a quantidade de pontos coletados é muito grande.

Primeiramente os dados foram organizados simulando uma colheita realizada pulando-se 2, 4, 6, 8 e 10 faixas, ou seja, 11,2 m; 22,4 m; 33,6 m; 44,8 m e 56 m. Essas faixas foram identificadas pelo sentido de colheita (Norte ou Sul), conforme [Menegatti \(2002\)](#).

Essa disposição seria esperada se a colheita com a colhedora instrumentada fosse feita com outras máquinas sem a instrumentação utilizada para monitorar ou mapear a produtividade ([Figura 2](#)).

Além da krigagem, que é um método mais trabalhoso de interpolação (exige um conhecimento prévio do usuário em geoestatística) também foi utilizado o método do inverso da distância, por ser de fácil utilização e não exigir um conhecimento em técnicas geoestatísticas. Para a interpolação pelo inverso da distância foram utilizados 12 vizinhos e um peso igual a 2. Esse método de interpolação pelo inverso da distâncias é um padrão da maioria dos softwares de SIG confeccionados para a Agricultura de Precisão disponíveis no mercado. Para ambas as interpolações foi escolhido uma célula de 2 m para o mapa de quadrículas resultante.



**Figura 2.** Representação das faixas de colheita simuladas. Sendo: F00 (todos os dados), F02 (pulando 2 passadas), F04(4 passadas), F06 (6 passadas), F08 (8 passadas) e F10 (10 passadas).

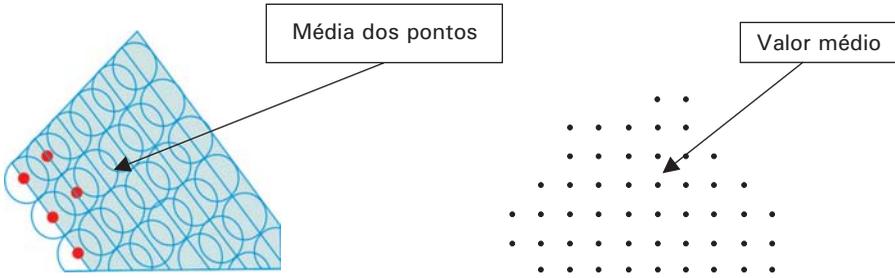
Foram também comparados os mapas resultantes dos dados dispostos em faixas espaçadas de 2, 4, 6, 8 e 10 vezes a largura da plataforma com os mapas resultantes da interpolação de uma grade regular gerada pela metodologia aqui chamada de Média Circular na Faixa (MCF) que consiste de um pré-processamento dos dados antes da interpolação.

## Metodologia de média circular na faixa de colheita (MCF)

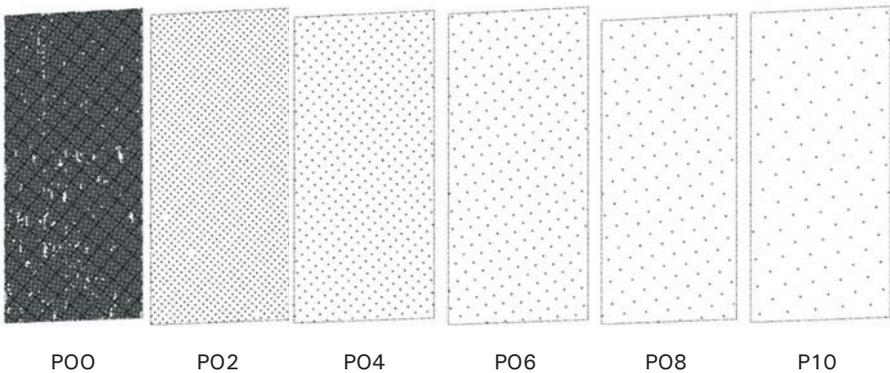
A metodologia proposta neste trabalho consistiu do cálculo da média dos pontos abrangidos num diâmetro correspondente a 80% da largura entre as faixas de colheita, procurando-se confeccionar uma grade regular proporcional à distância entre passadas da máquina no sentido de melhorar a interpolação feita posteriormente na geração dos mapas.

Por exemplo: numa distância entre faixas de 36 m, calcula-se a média dos pontos abrangidos por um círculo de diâmetro de 28,8 m (80 % de 36) e atribui o valor médio no ponto central ([Figura 3](#)). Vários softwares de SIG podem ser utilizados para tentar simular esse tipo de metodologia.

Dessa forma os dados brutos antes da interpolação tiveram a disposição espacial em grades regulares como pode ser visto na [Figura 4](#).



**Figura 3.** Metodologia de pré-processamento (MCF) dos dados de colheita antes da interpolação para a geração dos mapas.



**Figura 4.** Aplicação da metodologia MCF aos dados da colheita em faixas de 2, 4, 6, 8 e 10 vezes a largura da plataforma da máquina.

## Análises geoestatísticas

Antes de submeter os dados para a análise de dependência espacial utilizando a geoestatística, efetuou-se uma análise de estatística descritiva, verificando-se a normalidade dos dados, assimetria, curtose, média, desvio-padrão e coeficiente de variação; permitindo antever se os dados teriam um ajuste suficientemente normal para permitir facilidade de uso da teoria geoestatística ([Journel & Huijbregts, 1978](#)).

Em seguida os dados contidos no polígono F00 (sem a retirada de passadas) foram submetidos à análise de dependência espacial para a determinação de qual seria a distância máxima, ou alcance até a qual os dados ainda possuem dependência espacial.

É importante ressaltar que a distância máxima entre faixas de colheita foi escolhida baseando-se na distância máxima do alcance do semivariograma ajustado com todos os dados de colheita depois da filtragem e remoção de erros. Considera-se que depois dessa distância os dados não têm mais dependência espacial.

## **Análises de correlação linear**

Depois da geração dos mapas, provenientes dos dois tipos de interpolação (krigagem e Inverso da distância), avaliou-se a correlação existente entre um mapa confeccionado a partir da colheita da área total (27 ha), e que teve seus dados obtidos por interpolação por krigagem com outros 20 mapas. Do total de mapas, 10 foram obtidos por interpolação por krigagem a partir dos dados brutos (F02k, F04k, F06k, F08k, F10k, P02k, P04k, P06k, P08k e P10k) e outros 10 obtidos pela interpolação pelo inverso da distância (F02idw, F04idw, F06idw, F08idw, F10idw, P02idw, P04idw, P06idw, P08idw e P10idw). Para a interpretação das siglas, entende-se:

F - Faixas de colheita

P - São pontos gerados pela metodologia MCF (Média circular na Faixa)

02 a 10 - Número de faixas de colheita de 5,6 m retirada entre faixas

k - Interpolação por krigagem

idw - Interpolação pelo inverso da distância

Para quantificar a correlação entre todos os mapas com o mapa referência (gerado a partir da interpolação dos dados F00) foram utilizados os métodos de correlação de Pearson e de Spearman rank com uma grade amostral de 5,6 x 5,6 m (largura da plataforma). Esse tamanho de grade de correlação adotado foi em função da área mínima de manejo que está sendo adotada na área.

## **Resultados e Discussão**

### **Análise estatística**

Os dados apresentaram uma distribuição normal pelo teste de Shapiro Wilks como se pode ver no Gráfico 1. Apresentou uma simetria com os valores de Assimetria (Skewness) de 0,22 (próximo de 0, em que se tem simetria total dos dados). Esse tipo de análise prévia à análise geoestatística é recomendada por [Isaaks & Srivastava \(1989\)](#).

A análise descritiva detalhada dos dados de produtividade apresentou alguns parâmetros muito semelhantes a [Noack et al. \(2003\)](#). As grandezas dos números e dos parâmetros estatísticos obtidos podem ser vistos na Tabela 1.

**Tabela 1.** Estatística descritiva dos dados de produtividade da área colhida.

<b>Total de pontos</b>	<b>9628</b>
Média	6766,53
Mediana	6671,5
Valor Mínimo	3093
Valor Máximo	10308
Variância	2031488
Desvio-padrão	1425,303
Assimetria (Skewness)	0,222035
Curtose	-0,53353
Coeficiente de variação (%)	21,06
Shapiro Wilks	p = 0,0001

Na área experimental o coeficiente de variação foi de 21%, existiu uma grande variância dos valores de produtividade, mostrando claramente que numa área agrícola como essa o tratamento uniforme baseado na média incorreria em erros sistemáticos no manejo agrônômico. Existiram locais onde a produtividade foi de 3.093 kg/ha e outros locais onde foi produzido 10.308 kg/ha. Os dados de produtividade que originaram o mapa possuíram simetria e distribuição normal segundo teste de Shapiro Wilks.

## **Análise de dependência espacial e correlação entre os mapas**

Os dados de produtividade da área experimental, de 27 ha sem a retirada das faixas de colheita, apresentaram um alcance em torno de 37 m, ou seja, até essa distância entre pontos amostrais existe uma dependência espacial entre as amostras. Resultados semelhantes foram obtidos por [Menegatti \(2002\)](#) e [Blackmore \(2003\)](#). Como 37 m é uma distância maior que seis faixas de colheita também foram feitas modelagens dos parâmetros dos semivariogramas ajustados aos dados de F02, F04, F06, P02, P04 e P06, que apresentaram um alcance médio de 38 m, muito próximo de 37 m, confirmando a dependência espacial do semivariograma ajustado sem a retirada de dados.

O resultado apresentado anteriormente indica que utilizando interpolação por krigagem poderia se distanciar até 37 m entre faixas de colheita na cultura de milho, e ainda, obter um mapa confiável, dispensando a colheita monitorada em área total. Ou seja, poderia ser feito uma colheita conjugada de uma colhedora monitorada e outras seis colhedoras (6 faixas de 5,6 m) sem a instrumentação necessária para monitoramento da produtividade que teríamos ao final dados suficientes para uma interpolação adequada para a geração de mapas de colheita que representariam as grandes tendências de variabilidade na área estudada.

Os mapas gerados pelos dados de colheita em faixas ou com o grid gerado depois da aplicação da metodologia MCF espaçados até 37 m (pulando-se até 6 faixas de colheita) foram interpolados utilizando-se os parâmetros do semivariograma ajustado com a totalidade dos pontos, ou seja, sem a retirada de faixas de colheita. Os demais mapas gerados a partir da retirada de 8 e 10 faixas foram interpolados utilizando-se parâmetros dos semivariogramas ajustados aos dados distanciados de 44,8 e 56 m. Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros obtidos das interpolações.

**Tabela 2.** Parâmetros de ajuste dos semivariogramas referentes aos dados F00, F08, F10, P08 e P10.

Dados utilizados	Modelo de ajuste	Nugget (Intercepto)	Sill (Patamar)	Range (Alcance)
F00	Esférico	1085886	1700807	37,04
F02, F04, F06, P02, P04, P06	Esférico	1105632*	1780526*	38,32*
F08	Esférico	1230566	1982356	112,1
F10	Esférico	1005632	2482355	249,5
P08	Esférico	155235	755621	255,5
P10	Esférico	0	1205635	385,1

\*Média dos parâmetros ajustados aos semivariogramas (F02, F04, F06, P02, P04 e P06)

Nas [Figuras 5, 6, 7, 8 e 9](#) são apresentados os semivariogramas referentes aos dados sem a retirada de faixas de colheita e retirando-se 8 e 10 faixas respectivamente.

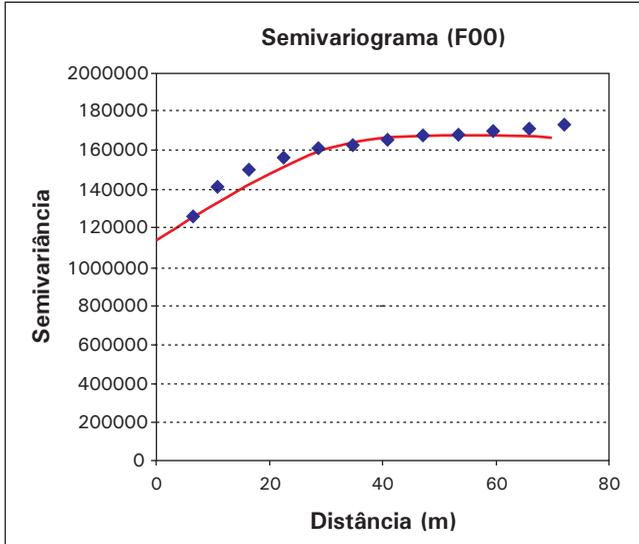


Figura 5. Semivariograma referente aos dados sem a retirada de faixas de colheita e modelo ajustado aos dados.

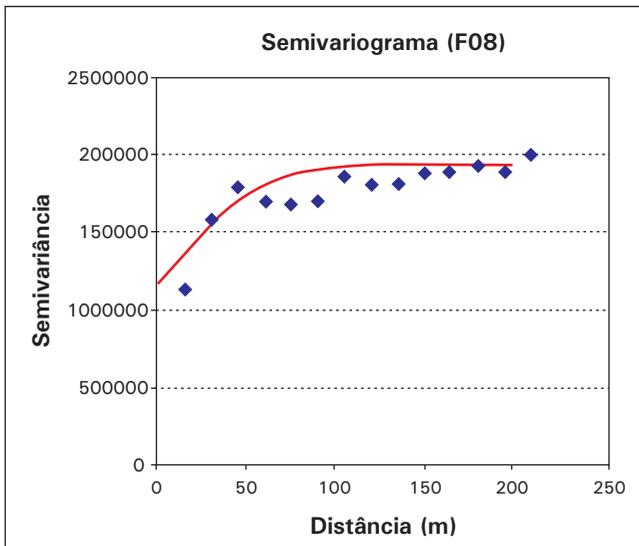


Figura 6. Semivariograma referente aos dados retirando-se 8 faixas de colheita (44,8 m) e modelo ajustado aos dados.

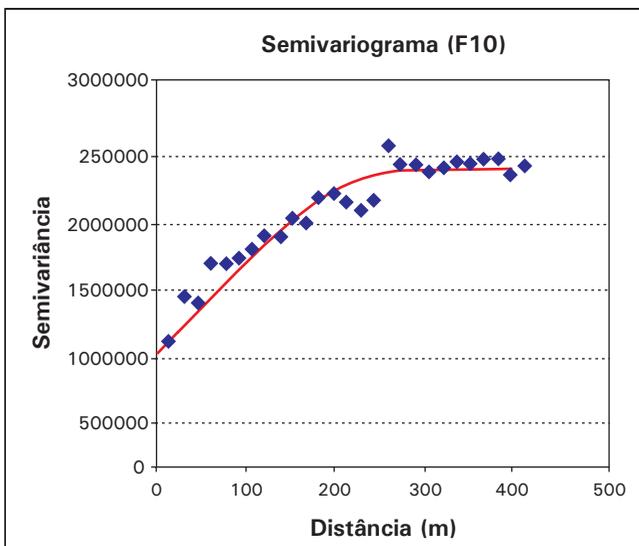


Figura 7. Semivariograma referente aos dados retirando-se 10 faixas de colheita (56 m) e modelo ajustado aos dados.

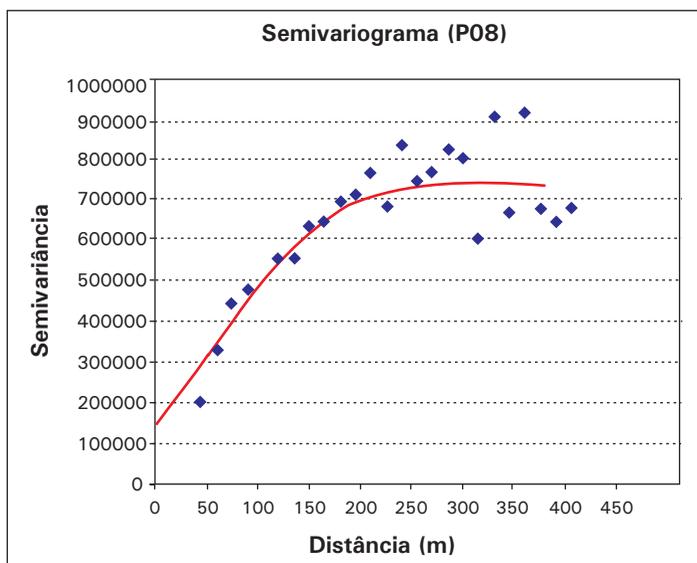
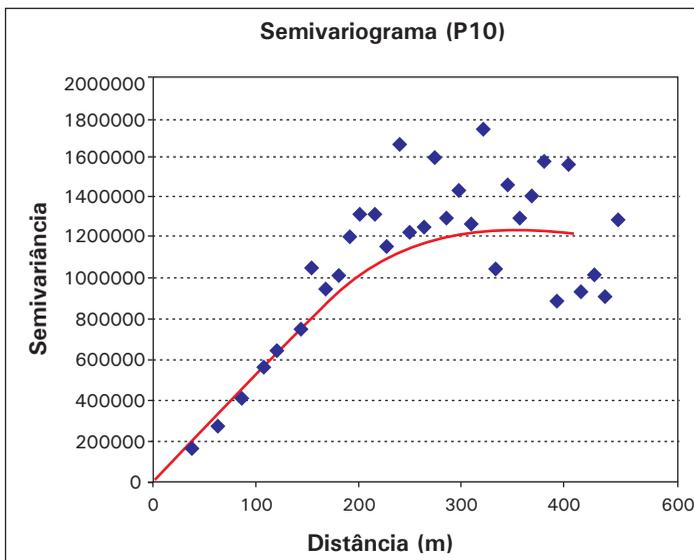


Figura 8. Semivariograma referente aos dados retirando-se 8 faixas de colheita (44,8 m) aplicando a metodologia MCF e modelo ajustado aos dados.



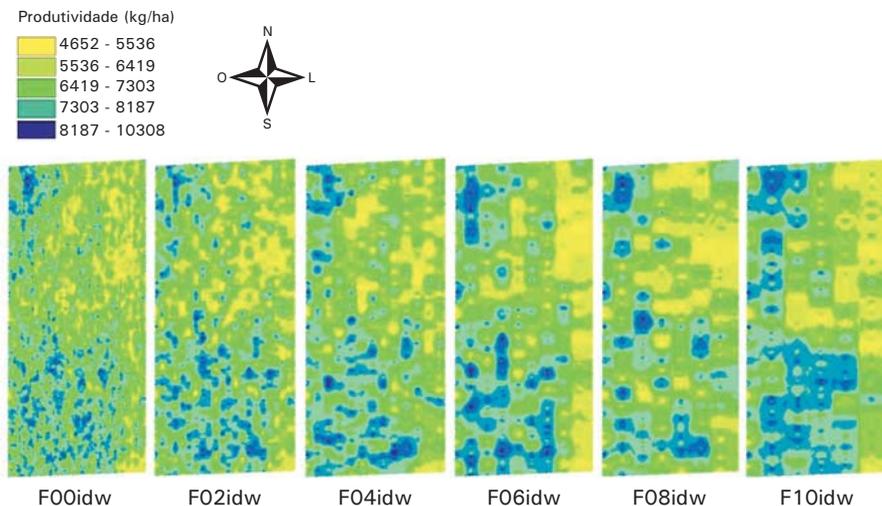
**Figura 9.** Semivariograma referente aos dados retirando-se 10 faixas de colheita (56 m) aplicando a metodologia MCF e modelo ajustado aos dados.

Pode-se observar nas [Figuras de 5 a 9](#) uma tendência de ajuste em distâncias maiores, mostrando que o mapa de produtividade nessa área também teve outra escala de dependência espacial e ajuste dos dados. Alguns geoestatísticos salientam que não existe uma metodologia única aos ajustes dos semivariogramas, os mesmos devem ser modelados e ajustados de acordo com o conhecimento do fenômeno estudado. Nesse caso específico adotou-se o semivariograma ajustado a todos os dados.

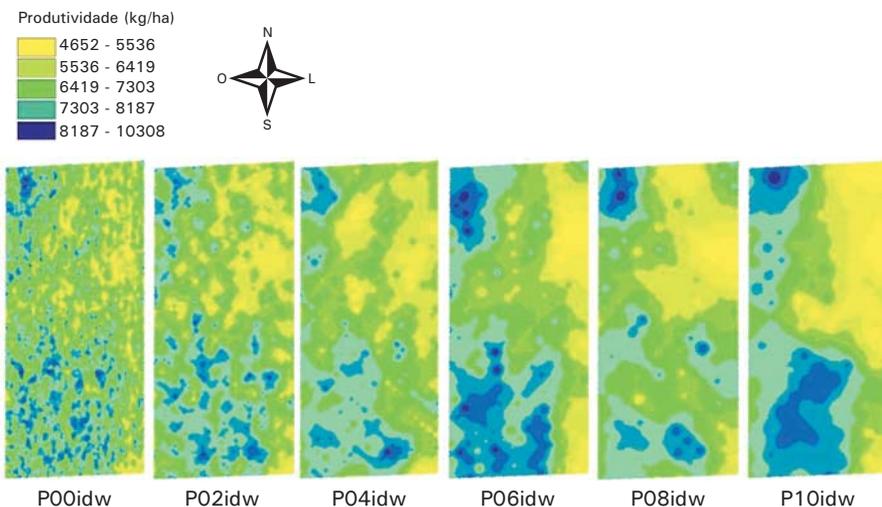
## **Análise dos mapas de produtividade**

Nas [Figuras de 10 a 13](#) são apresentados os mapas gerados nos diferentes espaçamentos entre faixas, simulados depois da colheita da área total e interpolados pelos dois métodos utilizados, a krigagem e o inverso da distância, com e sem a utilização da metodologia MCF (Média Circular na Faixa).

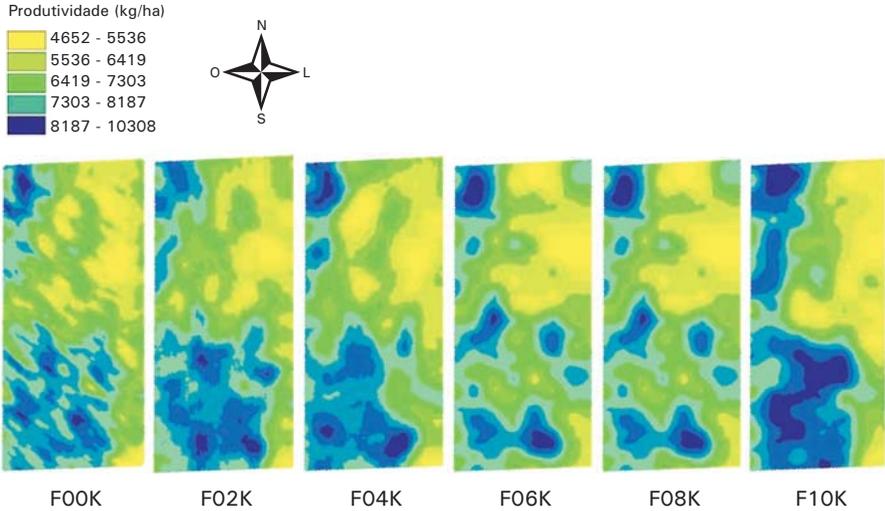
Depois da geração dos mapas pela interpolação dos dados por krigagem e inverso da distância, foi utilizada uma grade de 5,6 por 5,6 m (largura da plataforma) para a retirada dos dados dos mapas resultantes, sendo esses valores extraídos utilizados para as análises de correlações de Pearson e Spearman rank.



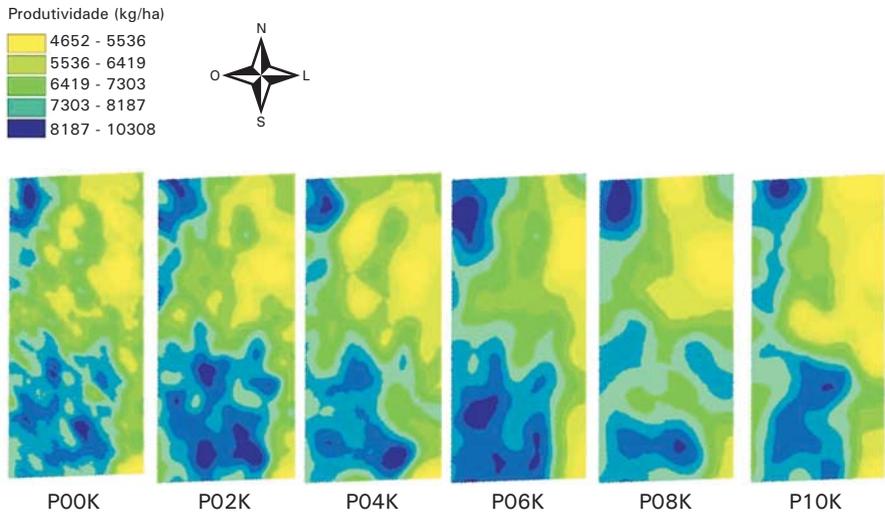
**Figura 10.** Mapas interpolados pelo inverso da distância, sem a utilização da metodologia MCF. (F00idw, F02idw, F04idw, F06idw, F08idw, F10idw).



**Figura 11.** Mapas interpolados pelo inverso da distância, com a utilização da metodologia MCF. (P00idk, P02idk, P04idk, P06idk, P08idk, P10idk).



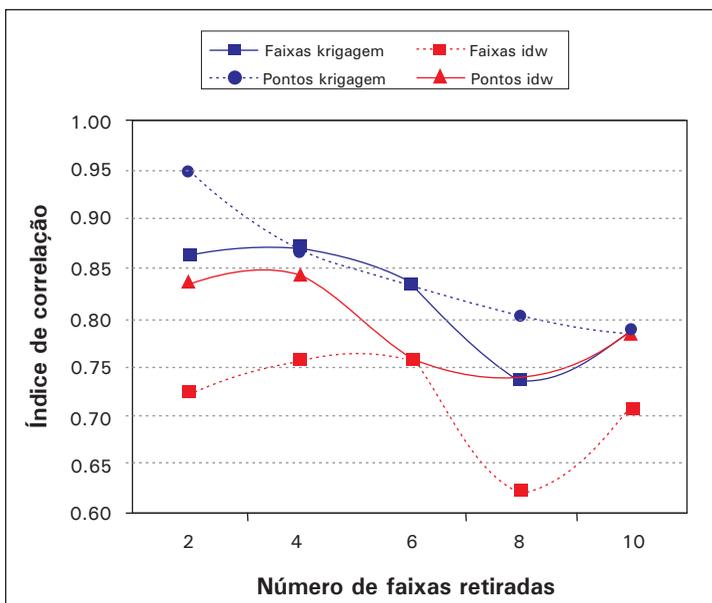
**Figura 12.** Mapas interpolados por krigagem, sem a utilização da metodologia MCF. (F00k, F02k, F04k, F06k, F08k, F10k).



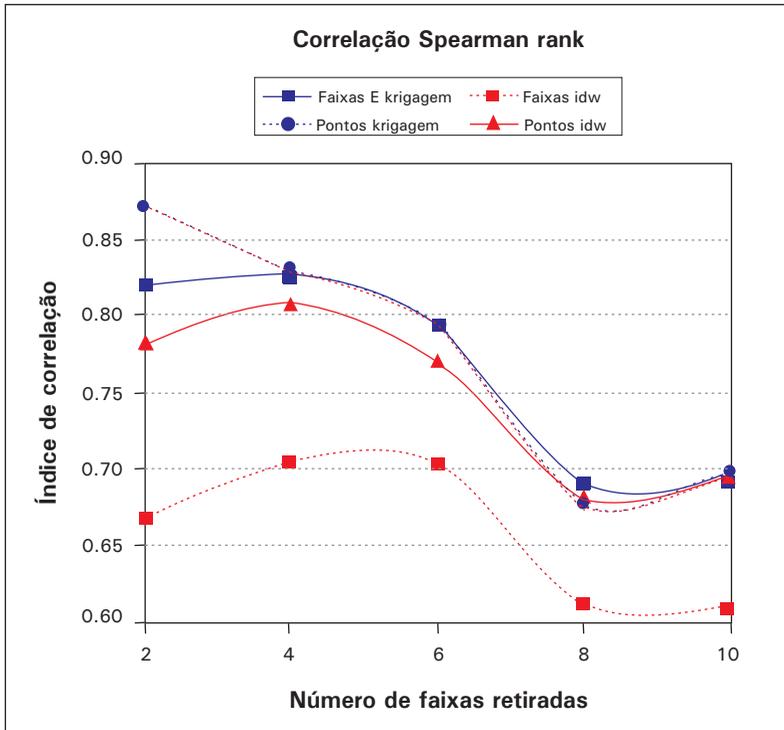
**Figura 13.** Mapas interpolados por krigagem, com a utilização da metodologia MCF. (P00k, P02k, P04k, P06k, P08k, P10k).

Os dados interpolados numa distância maior que 37 m, utilizando-se a metodologia MCF, demonstraram uma correlação significativa (0,8) semelhante à interpolação por krigagem sem esse pré-processamento. Portanto, utilizando esse limite de 0,80 de correlação, até a distância de 44,8 m (pulando-se oito passadas da máquina) tem-se uma boa correlação com o mapa referência (FOOk). Essa melhora da correlação dos mapas em relação ao mapa referência depois da aplicação da metodologia MCF pode ser vista nas [Figuras 14 e 15](#).

Utilizando a krigagem que é o modo de interpolação mais adequado para dados dependentes espacialmente foi possível obter mapas com uma confiabilidade alta em comparação com a referência (FOO) pulando-se até 6 faixas de 5,6 m utilizando-se previamente a metodologia da Média Circular na Faixa (MCF). Portanto, nessa área específica, em anos posteriores pode-se pular até 6 faixas de colheita.



**Figura 14.** Correlação de Pearson dos valores de produtividade considerando uma grade de 5,6 por 5,6 m, extraída dos mapas F02, F04, F06, F08, F10, P02, P04, P06, P08 e P10 interpolados por krigagem (k) e pelo método do inverso da distância (idw).



**Figura 15.** Correlação de Spearman rank dos valores de produtividade considerando uma grade de 5,6 por 5,6 m, extraída dos mapas F02, F04, F06, F08, F10, P02, P04, P06, P08 e P10 interpolados por krigagem (k) e pelo método do inverso da distância (idw).

Além da análise estatística de correlação linear significativa para todas as comparações feitas, visualmente, a maioria dos mapas mantiveram a estabilidade das grandes tendências de variação na produtividade existente na área em distâncias superiores como apresentado nos mapas das [Figuras 10 a 13](#).

Evidenciou-se, tanto visualmente, quanto estatisticamente que a krigagem foi melhor que o inverso da distância para descrever a tendência de variação em todas as situações testadas, principalmente quando se tinha uma distância maior entre faixas.

Mas é interessante ressaltar que quando não se dispõe do conhecimento da geoestatística, mapas gerados pela metodologia MCF, seguida da interpolação feita pelo inverso da distância em distâncias de até 22,4 m (distância equivalente a 4 faixas de colheita), apresentaram um nível de detalhamento necessário para se trabalhar com zonas de manejo. Percebeu-se também que em todos os casos quando se aplicava a metodologia MCF antes da interpolação (krigagem ou inverso da distância) o índice de correlação foi semelhante ou superior.

Quando não se dispõe de conhecimento em geoestatística para a análise dos dados antes da interpolação para a geração dos mapas, foi observado que mapas gerados pela interpolação padrão da maioria dos softwares de SIG no mercado (inverso da distância) utilizando-se a metodologia proposta neste trabalho chamada MCF (Média Circular na Faixa) pode-se obter um mapa adequado pulando-se até 4 faixas de 5,6 m e em seguida utilizar a metodologia de interpolação pelo inverso da distância. Porém, se a metodologia não for aplicada antes da interpolação pelo inverso da distância, ao se pular faixas de colheita os mapas gerados poderão não representar adequadamente as tendências de produtividade nessa área agrícola.

Quando se detêm o conhecimento em geoestatística e em métodos de interpolação por krigagem para a geração de mapas de produtividade a metodologia MCF não melhora substancialmente a interpolação, porém quando é utilizado a interpolação pelo inverso da distância a melhora dos índices de correlação é bastante expressiva. Portanto ao aumentar a distância entre faixas de colheita a utilização da metodologia proposta (MCF) melhora significativamente os mapas de produtividade gerados na cultura de milho, principalmente quando se utiliza a interpolação pelo inverso da distância.

As correlações de Spearman rank também confirmaram a tendência de índices de correlação superiores quando foi aplicada a metodologia MCF. Dessa forma, pode-se inferir que a metodologia MCF utilizada na geração de mapas de produtividade melhorou a interpolação posterior, possibilitando melhor estimativa dos dados de produtividade.

Quando se trabalha com zonas de manejo é interessante a utilização da correlação de Spearman rank, pois ela correlaciona o ranking e não valores como a correlação de Pearson.

Numa situação onde num local produziu mais em safras consecutivas, por exemplo: ano 2000, 12.300 kg/ha; ano 2001, 9.000 kg/ha; e ano 2002, 5.000 kg/ha, sendo esse local o primeiro no ranking em produtividade, o índice de Spearman é alto, porém quando se correlacionam valores numéricos como no teste de Pearson, o índice de correlação será baixo. Portanto, a utilização da correlação de mapas de safras sucessivas pode ser mais viável quando se utiliza a correlação de Spearman rank.

## Conclusão

1. É perfeitamente possível distanciar as faixas de colheita da colhedora instrumentada em colheitas posteriores nessa mesma área; podendo-se fazer uma colheita associada de uma máquina instrumentada com outras sem esses equipamentos. Essa metodologia de colheita aumenta o rendimento do monitoramento da produtividade, aumentando a quantidade de área mapeada por cada colhedora instrumentada.

## Referências Bibliográficas

- BLACKMORE, S. **The role of yield maps in precision farming**. 2003. 162 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – National Soil Resources Institute, Cranfield University, Silsoe.
- DOERGE, T. A. **Management zones concepts**. Disponível em: <<http://www.ppi-far.org/ssmg>>. Acesso em : 15 Nov. 2003.
- ISAACS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.
- JOURNEL, A. G.; HUIJBREGTS, C. J. **Mining geostatistics**. London: Academic Press, 1978. 600 p.
- MAKEPEACE, R. J. Benefits and limitations of precision farming. In: CONFERENCE ON PESTS AND DISEASES, 1., 1996, Brighton. **Proceedings**. Brighton: Brighton University Press, 1996. p. 1235-1242.
- MENEGATTI, L. A. **Metodologia para identificação, caracterização e remoção de erros em mapas de produtividade**. 2002. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MOLIN, J. P. Geração e interpretação de mapas de produtividade para a agricultura de precisão. In: BORÉM, A.; GIUDICE, M. P. del; QUEIROZ, D. M. de; MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R.; VALLE, F. X. R.; GOMIDE, R. L. **Agricultura de precisão**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. p.237-258.

NOACK, P. O.; MUHR, T.; DEMMEL, M. Relative accuracy of different yield mapping systems installed on a single combine harvester. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., 2003, Wageningen. **Proceedings**. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2003. p.451-456, 2003.

TAYLOR, R. K.; KASTENS, D. L. A.; KASTENS, T. L. Creating yield maps from yield monitor data using multi-purpose grid mapping (MPGM). In: PRECISION AGRICULTURE CONFERENCE, 5., 2000, Minneapolis. **Anais eletrônicos**. Disponível em: <[http://www.oznet.ksu.edu/pr\\_prcag/pubs/mpgm.pdf](http://www.oznet.ksu.edu/pr_prcag/pubs/mpgm.pdf)>. Acesso em: 01 Nov. 2003.

TUKEY, J.W. **Exploratory data analysis**. Reading: Adsson- Wesley, 1977. 3 v.