

## ANÁLISE TEMPORAL DA VARIABILIDADE ESPACIAL DE MAPAS DE PRODUTIVIDADE

W. P. CAMARGO<sup>1</sup>, A. B. M. SOUZA<sup>2</sup>, G. K. NAGUMO<sup>2</sup>, J. P. MOLIN<sup>3</sup>

### RESUMO

A agricultura praticada atualmente é enfocada em grandes áreas entendidas como homogêneas. Tentativas de dividir a lavoura em unidades de gerenciamento e tratá-las de forma diferenciada já foram propostas e testadas, no entanto o processo da definição dessas unidades é complexo e envolto em incertezas. O objetivo deste trabalho foi identificar unidades de gerenciamento por meio da análise de mapas de produtividade seqüenciais ao longo de seis anos e com três culturas cultivadas em uma área (milho, soja e aveia), onde foram efetuadas 9 safras consecutivas entre os anos de 1998 e 2003. Os dados das colheitas foram obtidos com monitor de produtividade instalado na colhedora e para sua análise foi utilizado um sistema de informação geográfica, estatística descritiva e análise de correlação entre os mapas dos diferentes ciclos. Com diferentes combinações possíveis entre as culturas praticadas na lavoura ao longo dos 9 ciclos, produziram-se os mapas com as células classificadas como produtividades consistentemente abaixo e consistentemente acima da média da lavoura como função de coeficientes de variação limite de 20, 30 e 40%, bem como células com variabilidade acima desses valores, consideradas como com produtividade inconsistente. Identificou-se uma região do talhão com produtividade consistentemente baixa e outra com produtividade consistentemente alta.

**PALAVRAS-CHAVES:** AGRICULTURA DE PRECISÃO, MECANIZAÇÃO, UNIDADES DE MANEJO.

## TEMPORAL ANALYSIS OF SPATIAL VARIABILITY ON YIELD MAPS

### SUMMARY

The agriculture practiced today is focused in fields considered as homogeneous. Attempts to define managing zones have been proposed and tested, however the process is complex and involved on uncertainties. The objective of this work was to identify managing zones through the analysis of sequential yield maps along six years and with three different crops involved (corn, soy and oats), where 9 consecutive harvests were taken from 1998 and 2003. Yield mapping data were obtained with a yield monitor installed on the harvester. Descriptive statistics data and correlation analysis among different cycle maps cycles was used for data analysis. Different crop combinations maps were produced with the cells classified as productivities consistently below and consistently above the average as a function of the coefficient of variation (CV) with limits of 20, 30 and 40%, and considering the cells with CV above those values as places with inconsistent yield along the time considered in this study. It was possible to observe an area with a consistently low yield and an area with consistently high yield.

**KEYWORDS:** PRECISION AGRICULTURE, MECHANIZATION, ZONE MANAGEMENT.

### INTRODUÇÃO

A agricultura hoje praticada utiliza a solução de focar grandes áreas e entendê-las como homogêneas, levando ao conceito da necessidade média para a aplicação dos insumos, fertilizantes, defensivos, água, etc, o que faz com que a mesma quantidade de insumos seja utilizada para toda a área, atendendo apenas as necessidades médias e não considerando as necessidades específicas de cada parte da lavoura

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Mestrando em Máquinas Agrícolas, Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, Piracicaba, SP, Av. Pádua Dias, 11, e-mail: wladys6@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Mestrando em Máquinas Agrícolas, Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

<sup>3</sup> Professor, Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

(FRAISSE, 2003). Tentativas de dividir a lavoura em parcelas e tratá-las de forma diferenciada já foram propostas e testadas, mas apenas recentemente, com o desenvolvimento de tecnologias apropriadas, tem sido possível realizar esse tipo de procedimento de forma mais simples e rápida (LAMPARELLI et al., 2001). Para a definição de unidades de gerenciamento diferenciado pode-se lançar mão da integração de modelos descrevendo processos contínuos entre o sistema solo e o ambiente circunvizinho, lidando com processos pedológicos, geomorfológicos, hidrológicos e ecológicos (SÁ, 2001).

Os dados coletados nos monitores de produtividade apresentam em sua forma bruta alguns erros sistemáticos. Esses erros podem ser causados pela largura incorreta da plataforma, ajuste no interruptor de plataforma, tempo de enchimento da colhedora, posicionamento incorreto, calibração de volume, suavização e outros, e devem ser removidos. Alguns desses erros são eliminados pelo próprio programa de coleta de dados do monitor e outros não o são, necessitando de uma filtragem para melhor representação da variabilidade espacial identificada pelos mapas de produtividade (MOLIN, 2001). Para tanto MENEGATTI (2002) desenvolveu um procedimento para a identificação e remoção de pontos considerados problemáticos dentro de um conjunto de dados de produtividade obtidos com monitores de produtividade de grãos.

Ao interpretar um mapa de produção com a finalidade do futuro gerenciamento do campo, deve-se levar em conta principalmente as causas consistentes de variabilidade, já que para as que não persistem no tempo pode-se ter pouco ou nenhum controle. As dificuldades consistem na identificação e na separação de cada uma das classes de variabilidade e na investigação das causas consistentes. Estas causas só podem ser compreendidas acompanhando-se e analisando-se os possíveis fatores que influenciam na variabilidade durante safras seguidas (FRAISSE, 2003).

A análise da variabilidade regionalizada do solo e da sua gênese tem sido explorada como um dos recursos de definição de unidades de gerenciamento. A análise de uma seqüência de mapas de produtividade é uma forma de definir tais unidades em um talhão, associando-as às características de solo. MOLIN (2002) utilizou mapas seqüenciais de produtividade para determinação de unidades de gerenciamento. A metodologia adotada utilizava a geração de mapas normalizados em torno da produtividade média do talhão, para cada ciclo e uma análise da variabilidade local a partir de um coeficiente de variação limite estabelecido em 30% para considerar produtividades inconsistentes ao longo do período acima deste valor.

O objetivo deste trabalho é analisar a variabilidade espacial da produtividade com vistas à identificação de unidades de gerenciamento a partir de dados de produtividade ao longo de um período compreendido por 9 ciclos de culturas de grãos em uma mesma área fazendo variar o valor do coeficiente de variação limite para estabelecer a consistência desta variabilidade.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Os dados foram obtidos em uma área localizada no município de Campos Novos Paulista, SP, onde estão sendo conduzidos trabalhos de pesquisa em agricultura de precisão pela ESALQ/USP. Nesta área foram efetuadas 10 safras consecutivas entre os anos de 1998 e 2003. Apenas no ciclo de milho safrinha do ano 2002 ocorreu uma geada que ocasionou a perda total da safra. As culturas instaladas ao longo dos anos, as colhedoras, os monitores e os receptores de GPS/DGPS utilizados nas diferentes colheitas estão discriminados na Tabela 1.

**TABELA 1-** Culturas instaladas e equipamentos utilizados para cada safra.

Ano	Cultura	Colhedora (Marca/modelo)	Monitor	Fabricant e	GPS/DGPS
1998 b	Milho	NH TC 57	RDS Ceres 2	RDS	Omnistar/Omnistar
1999 a	Soja	NH TC 57	RDS Ceres 2	RDS	Omnistar/Omnistar
1999 b	Milho	NH TC 57	RDS Ceres 2	RDS	Omnistar/Omnistar
2000 a	Soja	NH TC 57	RDS Pro Series 8000	RDS	Omnistar/Omnistar
2000 b	Milho	-	-	-	-
2001 a	Soja	NH TC 57	RDS Ceres 2	RDS	Omnistar/Omnistar
2001 b	Aveia	NH TC 57	NH PLMS	AgLeader	Trimble Ag 132/Racal
2002 a	Soja	NH TC 59	NH PLMS	AgLeader	Trimble Ag 132/Racal
2002 b	Milho	NH TC 59	NH PLMS	AgLeader	Trimble Ag 132/Racal
2003 a	Soja	NH TC 59	NH PLMS	AgLeader	Trimble Ag 132/Firmware

“a” se refere à cultura de verão e “b” à cultura de inverno ou safrinha.

Os dados coletados nas colheitas dos diferentes ciclos, com seus respectivos monitores de produtividade foram submetidos a um processo de identificação e remoção de erros como proposto por MENEGATTI (2002) e na seqüência foram submetidos a uma análise de estatística descritiva utilizando o programa Microsoft Excel®.

Na seqüência os dados foram analisados utilizando o sistema de informações geográficas dedicado à agricultura de precisão SSToolBox (SST Development Group®) onde foram transformados em superfície e o interpolador utilizado o método do inverso da distância ao quadrado (MOLIN, 2002). Com isso foram gerados mapas de células de 10 x 10 m, em que cada uma era georreferenciada para uma mesma localização nas diferentes safras, o que significa que todos os mapas apresentaram exatamente a mesma estrutura de espacialização.

Os valores de produtividade de cada célula foram normalizados em torno da produtividade média do talhão para que pudessem ser comparados entre si e para que os valores de cada célula pudessem ser submetidos a operações matemáticas. Assim foi possível associar mapas de diferentes safras e com diferentes culturas para comparação de estabilidade espacial ao longo do tempo. Para tanto foi computado o coeficiente de variação de cada célula para as diferentes combinações que foram: todos os ciclos de milho, todos os ciclos de soja, ciclos de milho associados a ciclos de soja, ciclos de milho associados a um ciclo de aveia, ciclos de soja associados a esse mesmo ciclo de aveia e todos os ciclos juntos. Os mapas normalizados originados dessas associações foram expressos em duas classes: produtividade acima da média do talhão e produtividade abaixo da média do talhão.

Para a caracterização das unidades de gerenciamento como função da variabilidade espacial e temporal adotou-se como critério a comparação do coeficiente de variação de cada célula obtido pelo cruzamento do conjunto de mapas com três níveis estipulados: 20 %, 30% e 40%.

A partir da análise o valor de cada célula em cada um dos mapas pode ser classificado em três categorias: produtividade consistentemente acima da média, produtividade consistentemente abaixo da média e produtividade inconsistente. A classe de produtividade consistentemente acima da média é formada por células com produtividade acima de 100% da média do talhão e coeficiente de variação menor que o limite testado (20%, 30% e 40%). A classe de produtividade consistentemente abaixo da média é formada por células com produtividade abaixo de 100% da média do talhão e coeficiente de variação menor que o limite estabelecido. Já a classe de produtividade instável é representada por células cujo coeficiente de variação entre os mapas cruzados é maior que o limite definido. Para cada mapa gerado pelas diferentes combinações de ciclos foram computadas as áreas equivalentes a cada classe de produtividade e foram feitas análises de correlação entre os diferentes mapas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

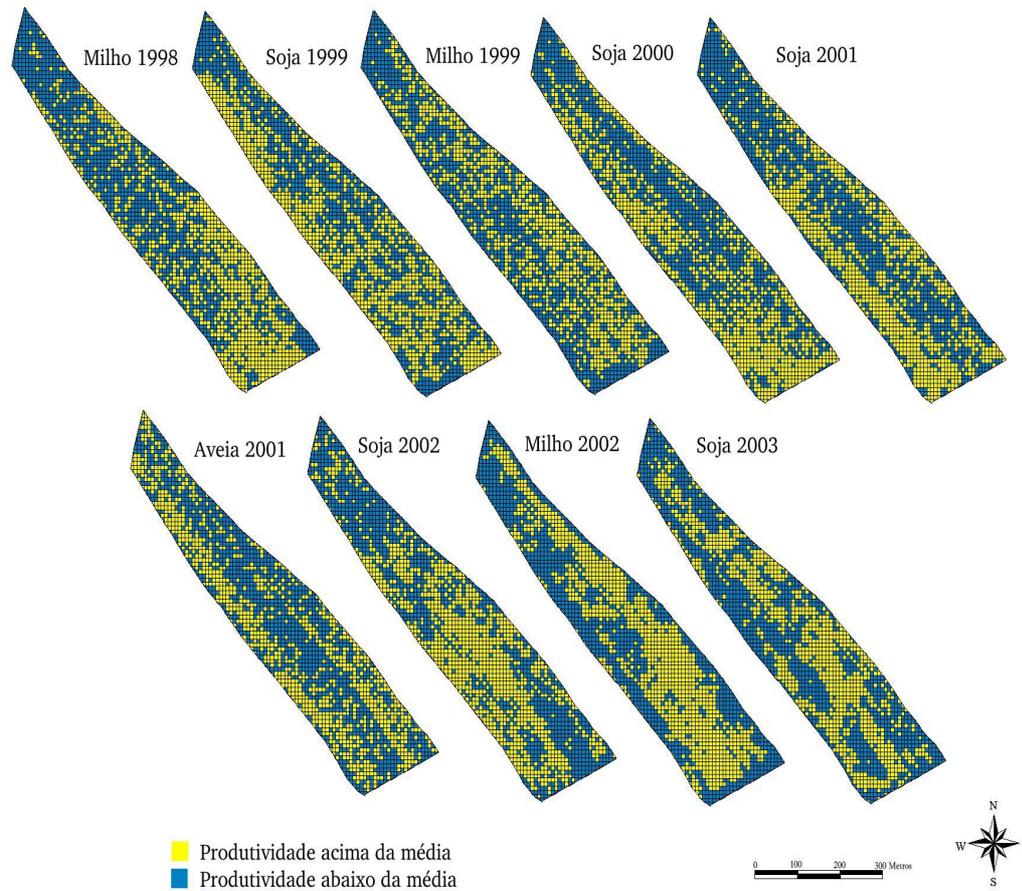
Os dados brutos foram submetidos ao processo de filtragem e o resultado da análise estatística descritiva desses dados com parâmetros como a média, mediana, valores mínimo e máximo e desvio padrão para cada ciclo, é apresentado na Tabela 2.

**TABELA 2-** Estatística descritiva dos dados de produtividade de todos os ciclos de culturas utilizadas no estudo.

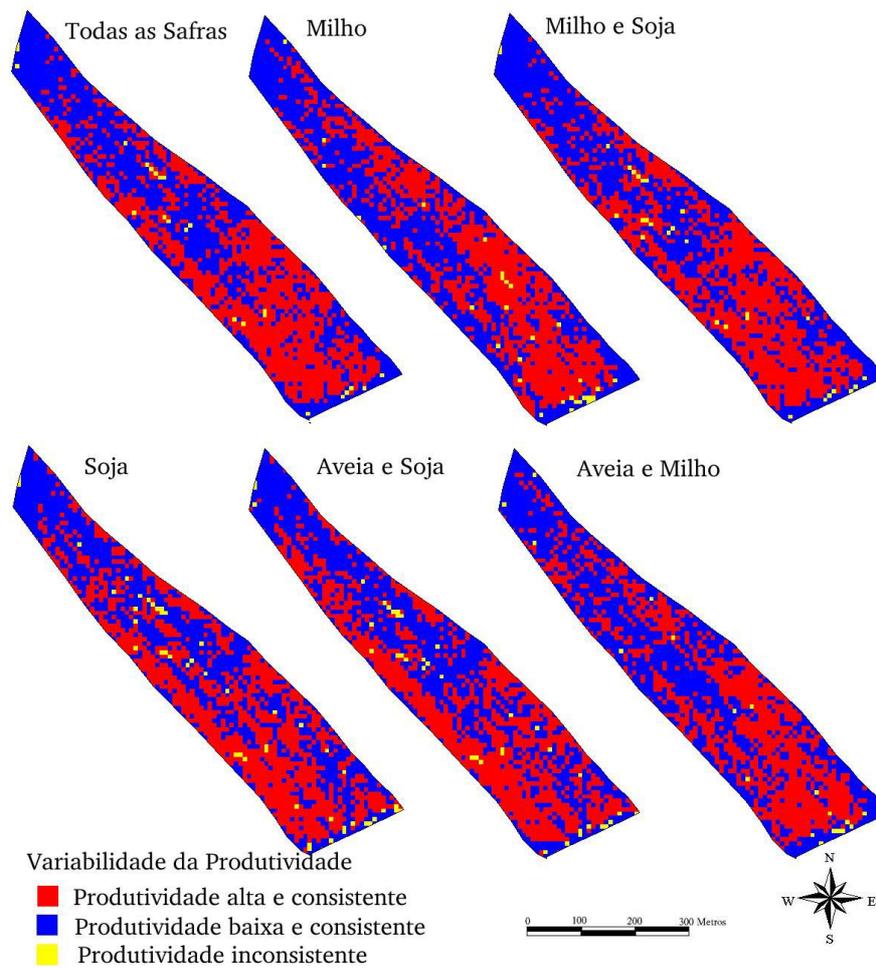
Ciclo	Média (t.ha <sup>-1</sup> )	Mediana (t.ha <sup>-1</sup> )	Mínimo (t.ha <sup>-1</sup> )	Máximo (t.ha <sup>-1</sup> )	Desvio Padrão
Milho 1998	4,72	4,55	1,98	7,94	1,471
Soja 1999	3,05	2,90	0,67	5,78	1,586
Milho 1999	4,42	4,31	0,83	7,88	1,667
Soja 2000	2,88	2,75	1,23	4,70	1,272
Milho 2000	-	-	-	-	-
Soja 2001	2,20	2,13	0,47	3,90	1,413
Aveia 2001	1,40	1,29	0,66	2,49	1,552
Soja 2002	3,56	3,56	2,64	4,42	1,122
Milho 2002	4,42	4,46	2,59	6,00	1,217
Soja 2003	2,37	2,38	1,49	3,08	1,156

Os dados da Tabela 2 demonstram, dentre outros, que a produtividade média do milho comportou-se de forma estável para as safras de 1998, 1999 e 2002, mantendo-se em torno de 4,5 toneladas por hectare, embora com desvios padrão sensivelmente diferentes. Já, para as safras de soja, nota-se que não houve o mesmo padrão de comportamento em relação ao milho.

A Figura 1 mostra os mapas de produtividades normalizadas em relação à média de cada safra, após a limpeza dos dados e interpolação e na Figura 2 são apresentados os mapas variabilidade da produtividade apresentando cada combinação de ciclos distribuída nas três classes de produtividades, a título de exemplo, apenas para o coeficiente de variação limite de 30%. A partir de todos os mapas para todos os valores de coeficiente de variação testados foram obtidas as áreas representativas de cada classe, apresentadas na Tabela 3.



**FIGURA 1-** Mapas de produtividade normalizados pela média do talhão para cada safra, divididos em duas classes: acima e abaixo da produtividade média.



**FIGURA 2-** Mapas da variabilidade da produtividade apresentando cada combinação de ciclos distribuída nas três classes de produtividades para o coeficiente de variação limite de 30%.

**TABELA 3-** Porcentagem de distribuição das áreas de cada classe de produtividade para os diferentes valores de coeficiente de variação testados.

Combinação de ciclos	Área de cada classe de produtividade (%)		
	Baixa e consistente	Inconsistente	Alta e consistente
Coeficiente de variação de 20%			
Todas as safras	48,99	6,29	44,72
Milho	50,19	7,87	41,95
Soja	45,01	8,61	46,38
Aveia e Milho	51,68	7,54	40,79
Aveia e Soja	46,05	8,28	45,67
Milho e Soja	48,61	6,67	44,72
Coeficiente de variação de 30%			
Todas as safras	52,17	0,99	46,83
Milho	54,45	1,37	44,18
Soja	48,78	2,03	49,19
Aveia e Milho	55,78	0,79	43,44
Aveia e Soja	49,98	1,61	48,41
Milho e Soja	52,05	1,24	46,71
Coeficiente de variação de 40%			
Todas as safras	52,55	0,33	47,12
Milho	55,36	0,17	44,47
Soja	49,52	0,75	49,73
Aveia e Milho	56,19	0,12	43,69
Aveia e Soja	50,60	0,50	48,90
Milho e Soja	52,63	0,37	47,00

Como era esperado, observou-se maior ocorrência de produtividade inconsistente nos mapas com coeficiente de variação menor. No entanto essa ocorrência foi aleatória ao longo de toda a área. Para os dados inconsistentes observa-se que a tendência se manteve, independente do rigor estabelecido à variabilidade local por meio do coeficiente de variação entre as produtividades normalizadas dos diferentes ciclos. A classe de produtividade consistentemente baixa manteve-se com área superior à classe com produtividade consistentemente alta, com exceção do agrupamento de todos os ciclos de soja, para todos os valores de coeficiente de variação analisados. Somente para o coeficiente de variação de 20% é que o percentual de área com produtividade inconsistente não foi maior que para os demais agrupamentos para o agrupamento de todos os ciclos de soja, indicando que esta apresenta uma menor estabilidade na variabilidade espacial ao longo dos ciclos.

**TABELA 4-** Análise de correlação utilizando os critérios de coeficiente de variação de 20, 30 e 40% para as diferentes combinações de composição de ciclos.

<b>Variáveis</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Coeficiente de variação de 20%</b>															
1. Todas Safras	-														
2. Milho	0,41	-													
3. Soja	0,54	0,07	-												
4. Aveia e Milho	0,49	0,67	0,07	-											
5. Aveia e Soja	0,60	0,04	0,69	0,19	-										
6. Milho e Soja	0,80	0,44	0,58	0,39	0,48	-									
7. Milho 1998	0,30	0,44	0,11	0,38	0,08	0,33	-								
8. Soja 1999	0,26	-0,01	0,35	0,01	0,32	0,25	0,07	-							
9. Milho 1999	0,28	0,51	0,03	0,42	0,05	0,31	0,11	0,01	-						
10. Soja 2000	0,21	-0,02	0,33	0,02	0,30	0,24	0,10	0,12	-0,03	-					
11. Soja 2001	0,35	0,06	0,43	0,08	0,39	0,37	0,10	0,06	0,04	0,12	-				
12. Aveia 2001	0,19	-0,06	0,01	0,26	0,30	-0,01	-0,03	0,05	-0,01	0,05	0,06	-			
13. Soja 2002	0,18	0,08	0,23	0,04	0,16	0,20	0,02	0,04	0,02	-0,03	0,05	-0,05	-		
14. Milho 2002	0,25	0,51	0,03	0,39	-0,01	0,29	0,10	-0,04	0,18	-0,08	0,00	-0,09	0,11	-	
15. Soja 2003	0,21	0,14	0,23	0,12	0,19	0,24	0,05	-0,01	0,06	-0,04	0,02	-0,06	0,18	0,21	-
<b>Coeficiente de variação de 30%</b>															
1. Todas Safras	-														
2. Milho	0,43	-													
3. Soja	0,56	0,07	-												
4. Aveia e Milho	0,52	0,69	0,09	-											
5. Aveia e Soja	0,61	0,06	0,71	0,21	-										
6. Milho e Soja	0,81	0,46	0,60	0,42	0,51	-									
7. Milho 1998	0,30	0,41	0,10	0,38	0,08	0,32	-								
8. Soja 1999	0,26	-0,01	0,35	0,01	0,33	0,25	0,07	-							
9. Milho 1999	0,30	0,52	0,05	0,44	0,06	0,32	0,11	0,01	-						
10. Soja 2000	0,20	-0,03	0,33	0,01	0,31	0,23	0,10	0,12	-0,03	-					
11. Soja 2001	0,35	0,06	0,44	0,08	0,41	0,37	0,10	0,06	0,04	0,12	-				
12. Aveia 2001	0,19	-0,06	0,01	0,24	0,30	0,00	-0,03	0,05	-0,01	0,05	0,06	-			
13. Soja 2002	0,19	0,09	0,23	0,05	0,17	0,21	0,02	0,04	0,02	-0,03	0,05	-0,05	-		
14. Milho 2002	0,26	0,51	0,05	0,39	0,00	0,30	0,10	-0,04	0,18	-0,08	0,00	-0,09	0,11	-	
15. Soja 2003	0,23	0,14	0,25	0,12	0,21	0,26	0,05	-0,01	0,06	-0,04	0,02	-0,06	0,18	0,23	-
<b>Coeficiente de variação de 40%</b>															
1. Todas Safras	-														
2. Milho	0,44	-													
3. Soja	0,57	0,08	-												
4. Aveia e Milho	0,52	0,70	0,09	-											
5. Aveia e Soja	0,62	0,06	0,71	0,21	-										
6. Milho e Soja	0,81	0,47	0,61	0,42	0,51	-									
7. Milho 1998	0,29	0,41	0,10	0,38	0,08	0,31	-								
8. Soja 1999	0,26	-0,01	0,35	0,01	0,33	0,25	0,07	-							
9. Milho 1999	0,30	0,52	0,05	0,44	0,06	0,32	0,11	0,01	-						
10. Soja 2000	0,20	-0,03	0,32	0,01	0,30	0,22	0,10	0,12	-0,03	-					
11. Soja 2001	0,35	0,06	0,43	0,08	0,40	0,36	0,10	0,06	0,04	0,12	-				
12. Aveia 2001	0,19	-0,06	0,01	0,24	0,30	0,00	-0,03	0,05	-0,01	0,05	0,06	-			
13. Soja 2002	0,19	0,09	0,23	0,05	0,17	0,21	0,02	0,04	0,02	-0,03	0,05	-0,05	-		
14. Milho 2002	0,27	0,51	0,05	0,39	0,00	0,30	0,10	-0,04	0,18	-0,08	0,00	-0,09	0,11	-	
15. Soja 2003	0,24	0,14	0,26	0,12	0,21	0,27	0,05	-0,01	0,06	-0,04	0,02	-0,06	0,18	0,24	-

Todas as correlações foram significativas a 0,05%

Nos mapas apresentados na Figura 1 não é possível identificar visualmente área definida para a determinação de unidades de gerenciamento com base nas manchas de produtividade para as três culturas instaladas ao longo dos anos, podendo ser confirmada pela análise de correlação apresentada na Tabela 3, onde os valores são, via de regra, baixos. Os mapas das safras de milho individualmente apresentaram maior correlação com o mapa de todos os ciclos de milho, se comparado com a soja, por exemplo, o que pode indicar que a cultura do milho apresentou maior estabilidade na variabilidade espacial ao longo dos ciclos. No entanto, os diferentes valores de coeficiente de variação aplicados na análise não resultaram em interpretações diferenciadas com relação ao comportamento da variabilidade espacial das produtividades.

Nos mapas de classes de produtividade apresentados na Figura 2, observa-se uma região com produtividade consistentemente baixa na porção noroeste do talhão. Na parte sudeste dos mapas destaca-se uma região com produtividade consistentemente alta. Regiões com produtividades inconsistentes apresentaram-se aleatoriamente ao longo do talhão e independentes, espacialmente, dos valores do coeficiente de variação.

## CONCLUSÕES

Com o agrupamento de 9 ciclos de culturas de grãos em uma área foi possível observar que a classe de produtividades inconsistentes não formou uma região definida. A ocorrência de área com classe de produtividades consistentemente baixas só não foi superior à de produtividades consistentemente alta para o agrupamento dos diferentes ciclos de soja. Houve a formação de uma área com produtividade baixa e consistente ao noroeste e uma área com produtividade alta e consistente ao sudeste do talhão. Os diferentes valores de coeficiente de variação analisados não afetaram esse resultado; apenas alteraram a intensidade de ocorrência de áreas com produtividade inconsistente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FRAISSE C. Agricultura de Precisão: tecnologia ao alcance de todos. Disponível na Internet via **WWW**. URL: <http://www.agriculturadeprecisao.com.br>. Arquivo capturado em 22 de junho de 2003.
- LAMPARELLI, R.A.C.; ROCHA, J.V.; BORGHI, E. **Geoprocessamento e Agricultura de Precisão**. 118p. Ed. Agropecuária, 2001
- MENEGATTI, L.A.A. **Metodologia para identificação, caracterização e remoção de erros em mapas de produtividade**, Piracicaba, 2002, 84p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo.
- MOLIN, J.P. **Agricultura de Precisão. O Gerenciamento da Variabilidade**, Piracicaba, 83p., 2001.
- MOLIN, J.P. **Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade**, Jaboticabal, Engenharia Agrícola, v.22, p.83-92, 2002.
- SÁ, M.F.M. **Abordagem quantitativa na predição espacial de atributos do solo e geração de zonas de manejo agrícola**. Piracicaba, 2001. 117p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo.