

# REVISTA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

VOLUME XXVII

NÚMERO 1

2004

SOCIEDADE PORTUGUESA DA CIÊNCIA DO SOLO

## **Encontro Anual da Sociedade Portuguesa da Ciência do Solo**

“Sistemas de Uso da Terra,  
Ordenamento do Território e Ambiente

Ponte de Lima  
5 a 7 de Setembro de 2002

### **EDIÇÃO ESPECIAL**

Coordenada por  
Manuel A. V. Madeira

**SOCIEDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DE PORTUGAL**

Instituição de Utilidade Pública

Fundada em 1903

Lisboa — Portugal

Efeito de sistemas de mobilização do solo na mineralização do N, na biomassa microbiana e na respiração do solo de soutos do Nordeste de Portugal .....	361
<i>F. Raimundo, M. Madeira, J. Coutinho &amp; A. Martins</i>	
Parametrização de modelos de gestão da rega para a cultura do milho na região do Entre-Douro e Minho .....	376
<i>J. Agostinho, R. M. Fernando &amp; A. Brás</i>	
Análise da tomada de decisão da ocupação do solo em espaço rural: estudo de caso com base num SIG .....	388
<i>J. Alonso &amp; J. Bento</i>	
Variabilidade espacial da produtividade do milho de regadio e sua relação com a topografia .....	404
<i>J. R. Marques da Silva, C. Alexandre, P. Mogo &amp; J. Rosado</i>	
Efeito da gestão dos resíduos de abate nas características do solo e no crescimento de uma plantação de <i>Eucalyptus globulus</i> , em talhadia .....	414
<i>M. Madeira, M. C. Magalhães, A. Azevedo, A. Fabião, M. C. Araújo &amp; J. P. Pina</i>	
Caracterização da distribuição do tamanho das gotas e da energia cinética da precipitação na rega por Rampa Rotativa .....	432
<i>P. Fernandez, J. Marques da Silva, A. G. Ferreira, L. L. Silva &amp; M. A. Coutinho</i>	
Influência da aplicação de azoto e boro na produção da oliveira cultivar Galega e na qualidade do azeite .....	444
<i>P. V. Jordão, M. E. Marcelo, C. M. Sempiterno, J. C. Henriques, A. Fernandes, J. Mateus, F. M. Soares &amp; M. C. Pinheiro-Alves</i>	
<b>6 — ECOLOGIA E PROCESSOS BIOLÓGICOS DO SOLO</b>	
Decomposição e libertação de nutrientes da necromassa de comunidades herbáceas .....	457
<i>C. Sá, M. Madeira &amp; L. Gazarini</i>	
Efeito do escorrimento ao longo dos troncos de <i>Eucalyptus globulus</i> , <i>Pinus pinaster</i> e <i>Quercus rotundifolia</i> no padrão de variação espacial de propriedades do solo .....	470
<i>N. Cortez, J. Nunes &amp; M. Madeira</i>	
Variação sazonal e espacial da partição de biomassa e nutrientes em <i>Cistus salvifolius</i> L. ....	481
<i>M. P. Simões, M. Madeira &amp; L. Gazarini</i>	

# VARIABILIDADE ESPACIAL DA PRODUTIVIDADE DO MILHO DE REGADIO E SUA RELAÇÃO COM A TOPOGRAFIA

## SPATIAL VARIABILITY OF AN IRRIGATED CORN YIELD AND ITS RELATION WITH FIELD TOPOGRAPHY

J. R. Marques da Silva<sup>1</sup>, C. Alexandre<sup>2</sup>, P. Mogo<sup>3</sup> & J. Rosado<sup>3</sup>

### RESUMO

A topografia e a produtividade foram amostradas em dois lugares diferentes, o lugar A e o lugar B, dentro da mesma parcela de rega e com uma área respectiva de 26 e 24 ha. O objectivo deste trabalho passou por determinar que tipo de relações estatísticas existem entre duas variáveis principais, a produtividade do milho e a topografia. O estudo, localizado na região Alentejo, Terena, Alandroal, 80 km a Este de Évora, iniciou-se em Agosto de 2001. A densidade de amostragem para a topografia foi de 5 m na linha e 15 m na entrelinha. A produtividade do milho foi medida com uma ceifeira, equipada com um sensor de débito e posicionada com um Sistema de Posicionamento Global (DGPS). A densidade de amostragem foi irregular com 1111 pontos colhidos no lugar A e 777 pontos colhidos no lugar B. Foi desenvolvida uma base de dados, em sistema de informação geográfica, para gerir toda a informação recolhida no campo e para a elaboração de análises diversas. Uma análise geoestatística aos dados, mostrou que os padrões espaciais da variabilidade da produtividade do milho, não só variam de um lugar para outro, dentro da mesma parcela, mas também de uma zona para outra,

dentro do mesmo lugar. Análises de regressão múltipla indicaram que a Área Contributiva (ACe) com escoamento a montante de um determinado ponto e o Índice de humedecimento de Moore (IM) têm um efeito significativo sobre a produtividade. Estes parâmetros topográficos puderam apenas explicar 28% de toda a variabilidade da produtividade, nos dois sítios analisados em simultâneo, no entanto, 48% da variabilidade da produtividade do milho pode ser explicada para uma determinada classe de dados no lugar A. Os resultados preliminares deste estudo permitem afirmar que o Índice de Moore e a Área Contributiva específica são dois parâmetros importantes no diagnóstico de zonas de baixa produtividade devido a déficit hídrico e devido a problemas de drenagem do solo, respectivamente. Estes resultados providenciaram informação quantitativa importante sobre a influência da topografia na produtividade do milho irrigado em topografias complexas.

### ABSTRACT

Corn yield and topography were sampled at two different sites, A and B, with an area of 26 ha and 24 ha respectively, on a single plot of irrigated cropland. The aim of

<sup>1</sup>Universidade de Évora, Dep. Engenharia Rural- Apartado 94 – 7002-554 Évora, email: [jmsilva@uevora.pt](mailto:jmsilva@uevora.pt)

<sup>2</sup> Universidade de Évora, Dep. Geociências - Apartado 94 – 7002-554 Évora

<sup>3</sup> Finalistas do curso de Eng. Agrícola, Universidade de Évora

the study was to determine the relationship between two main variables, corn yield and field topography. The study was carried out in the Alentejo region of Portugal, at Tereina, near Alandroal, 80 km east of Évora, and started in August 2001. Sampling density for topography was 5 m in the row and 15 m in the inter-row. Corn yield was measured with a combine harvester fitted with a grain-flow sensor and positioned by means of a Global Positioning System (DGPS). Sampling density was irregular with 1,111 collection points at site A and 777 collection points at site B. A Geographic Information System (GIS) database was created to manage both data collected in the field and information sourced from topographic maps, with a view to carrying out a range of analyses. The geostatistical analysis of this data showed that spatial patterns of variability in corn yields differed not only from one site to another on a single plot of land but also from one area to another at a given site. Regression analysis indicated that topographic features such as Moore's wetness index (IM) and specific contributing unit area (ACE) had significant effects on corn yield. These features accounted for only 28% of variability in corn yield for the two sites, while 48% of yield variability was explained by topography for a given range of yield data in site A. Preliminary results from this study show that the Moore's wetness index and the specific contributing unit area are important variables for low productivity diagnosis as a result of water deficit and soil drainage problems, respectively. These results provide useful quantitative information as regards the influence of topography on irrigated corn yield.

## INTRODUÇÃO

As tecnologias que suportam a agricultura de precisão começaram por aparecer em 1989 quando o sistema de posicionamento

global (GPS) se tornou disponível e foi testado como meio de posicionar equipamento agrícola no meio de uma determinada parcela agrícola. Este tipo de tecnologias (GPS, sensores da quantidade e/ou qualidade do produto agrícola e distribuidores de factores de produção a uma taxa variável em função da posição do tractor na parcela), têm evoluído muito rapidamente nos últimos anos, reduzindo os seus custos de aquisição e aumentando as suas capacidades. Contudo, um determinado tipo de informação importante, que geralmente não está disponível, prende-se com o tipo de atitude agronómica a tomar como resultado de informação recolhida numa determinada posição, dentro da parcela agrícola. Para desenvolver este tipo de conhecimento será necessária informação sobre a resposta espacial e temporal da cultura e tal só se poderá obter medindo a variabilidade da produtividade e/ou da qualidade do produto colhido. Aumentar o conhecimento sobre a variabilidade espacial e temporal da variável medida numa determinada parcela agrícola, bem como da sua relação com os factores controladores da mesma, é um grande desafio para quem está envolvido neste tipo de tecnologias.

Diversos investigadores tentaram perceber a importância de diferentes factores limitativos da produtividade (Braga, 2000; Bakhsh *et al.*, 2000; Lamb *et al.*, 1997) e a maior parte deles teve dificuldades em interpretar os seus resultados, ou por falta de consistência dos resultados de um ano para outro, ou porque as várias combinações de propriedades do solo não descreveram as variações observadas no campo. No entanto, Yang *et al.* (1998), através de análise de regressão, mostrou que os atributos topográficos incluindo a altitude, declive e orientação, tiveram efeitos significativos sobre a produtividade da cultura do trigo.

A cultura do milho na região Alentejo é

(versão postprint)

## **Variabilidade espacial da produtividade do milho de regadio e sua relação com a topografia.**

### **Spatial variability of an irrigated corn yield and its relation with field topography**

**J. R. Marques da Silva<sup>1</sup>; C. Alexandre<sup>2</sup>; P. Mogo<sup>3</sup> & J. Rosado<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Universidade de Évora, Dep. Engenharia Rural- Apartado 94 – 7002-554 Évora, email: [jmsilva@uevora.pt](mailto:jmsilva@uevora.pt)*

<sup>2</sup>*Universidade de Évora, Dep. Geociências - Apartado 94 – 7002-554 Évora*

<sup>3</sup>*Finalistas do curso de Eng. Agrícola, Universidade de Évora*

#### **RESUMO**

A topografia e a produtividade foram amostradas em dois lugares diferentes, o lugar A e o lugar B, dentro da mesma parcela de rega e com uma área respectiva de 26 e 24 ha. O objectivo deste trabalho passou por determinar que tipo de relações estatísticas existem entre duas variáveis principais, a produtividade do milho e a topografia. O estudo, localizado na região Alentejo, Terena, Alandroal, 80 km a Este de Évora, iniciou-se em Agosto de 2001. A densidade de amostragem para a topografia foi de 5 m na linha e 15 m na entrelinha. A produtividade do milho foi medida com uma ceifeira, equipada com um sensor de débito e posicionada com um Sistema de Posicionamento Global (DGPS). A densidade de amostragem foi irregular com 1111 pontos colhidos no lugar A e 777 pontos colhidos no lugar B. Foi desenvolvida uma base de dados, em sistema de informação geográfica, para gerir toda a informação recolhida no campo e para a elaboração de análises diversas. Uma análise geoestatística aos dados, mostrou que os padrões espaciais da variabilidade da produtividade do milho, não só variam de um lugar para outro, dentro da mesma parcela, mas também de uma zona para outra, dentro do mesmo lugar. Análises de regressão múltipla indicaram que a Área Contributiva (ACe) com escoamento a montante de um determinado ponto e o Índice de humedecimento de Moore (IM) têm um efeito significativo sobre a produtividade. Estes parâmetros topográficos puderam apenas explicar 28% de toda a variabilidade da

produtividade, nos dois sítios analisados em simultâneo, no entanto, 48% da variabilidade da produtividade do milho pode ser explicada para uma determinada classe de dados no lugar A. Os resultados preliminares deste estudo permitem afirmar que o Índice de Moore e a Área Contributiva específica são dois parâmetros importantes no diagnóstico de zonas de baixa produtividade devido a déficit hídrico e devido a problemas de drenagem do solo, respectivamente. Estes resultados providenciaram informação quantitativa importante sobre a influência da topografia na produtividade do milho irrigado em topografias complexas.

### **ABSTRACT**

Corn yield and topography were sampled at two different sites, A and B, with an area of 26 ha and 24 ha respectively, on a single plot of irrigated cropland. The aim of the study was to determine the relationship between two main variables, corn yield and field topography. The study was carried out in the Alentejo region of Portugal, at Terena, near Alandroal, 80 km east of Évora, and started in August 2001. Sampling density for topography was 5 m in the row and 15 m in the inter-row. Corn yield was measured with a combine harvester fitted with a grain-flow sensor and positioned by means of a Global Positioning System (DGPS). Sampling density was irregular with 1,111 collection points at site A and 777 collection points at site B. A Geographic Information System (GIS) database was created to manage both data collected in the field and information sourced from topographic maps, with a view to carrying out a range of analyses. The geo-statistical analysis of this data showed that spatial patterns of variability in corn yields differed not only from one site to another on a single plot of land but also from one area to another at a given site. Regression analysis indicated that topographic features such as Moore's wetness index (IM) and specific contributing unit area (ACe) had significant effects on corn yield. These features accounted for only 28% of variability in corn yield for the two sites, while 48% of yield variability was explained by topography for a given range of yield data in site A. Preliminary results from this study show that the Moore's wetness index and the specific contributing unit

area are important variables for low productivity diagnosis as a result of water deficit and soil drainage problems, respectively. These results provide useful quantitative information as regards the influence of topography on irrigated corn yield.

## INTRODUÇÃO

As tecnologias que suportam a agricultura de precisão começaram por aparecer em 1989 quando o sistema de posicionamento global (GPS) se tornou disponível e foi testado como meio de posicionar equipamento agrícola no meio de uma determinada parcela agrícola. Este tipo de tecnologias (GPS, sensores da quantidade e/ou qualidade do produto agrícola e distribuidores de factores de produção a uma taxa variável em função da posição do tractor na parcela), têm evoluído muito rapidamente nos últimos anos, reduzindo os seus custos de aquisição e aumentando as suas capacidades. Contudo, um determinado tipo de informação importante, que geralmente não está disponível, prende-se com o tipo de atitude agronómica a tomar como resultado de informação recolhida numa determinada posição, dentro da parcela agrícola. Para desenvolver este tipo de conhecimento será necessária informação sobre a resposta espacial e temporal da cultura e tal só se poderá obter medindo a variabilidade da produtividade e/ou da qualidade do produto colhido. Aumentar o conhecimento sobre a variabilidade espacial e temporal da variável medida numa determinada parcela agrícola, bem como da sua relação com os factores controladores da mesma, é um grande desafio para quem está envolvido neste tipo de tecnologias.

Diversos investigadores tentaram perceber a importância de diferentes factores limitativos da produtividade (Braga, 2000, Bakhsh et al., 2000, Lamb et al., 1997) e a maior parte deles teve dificuldades em interpretar os seus resultados, ou por falta de consistência dos resultados de um ano para outro, ou porque as várias combinações de propriedades do solo não descreveram as variações observadas no campo. No entanto, Yang et al. (1998), através de análise de regressão, mostrou que os atributos

topográficos incluindo a altitude, declive e orientação, tiveram efeitos significativos sobre a produtividade da cultura do trigo.

A cultura do milho na região Alentejo é regada na sua maioria por rampas rotativas. A gestão deste tipo de sistema de rega numa região de topografia ondulada pode tornar-se bastante complexa. Essa complexidade traduz-se muitas vezes em variações espaciais da produtividade de 1 para 6.

Devido às características próprias do funcionamento destas máquinas de rega, verifica-se o aumento da taxa de aplicação ao longo da rampa, do centro, ou pólo, para a periferia, o que faz com que aumentem os problemas de escorrimento e erosão com o comprimento da rampa rotativa. Associada a estas elevadas taxas de aplicação temos uma elevada energia cinética, provocada pelo impacto das gotas de água no solo, que está directamente relacionada com a formação de crosta, responsável por uma redução significativa da infiltração (Thompson & James, 1985), o que favorece o escorrimento e a erosão. Sharma *et al.* (1991) mostraram que o destacamento de solo, o primeiro passo para a formação de crosta, aumenta com o aumento da energia cinética das gotas.

O principal objectivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial da produtividade do milho, numa topografia ondulada, sujeita a rega por rampa rotativa. Assume-se como hipótese, que a variabilidade da produtividade se deve em grande parte à topografia ondulada existente, topografia essa que condiciona a gestão da água no solo. As perguntas específicas que se fazem são: (i) quais as variáveis topográficas que podem interpretar melhor a variabilidade da produtividade do milho, e (ii) quais destas variáveis estão associadas à gestão da rega.

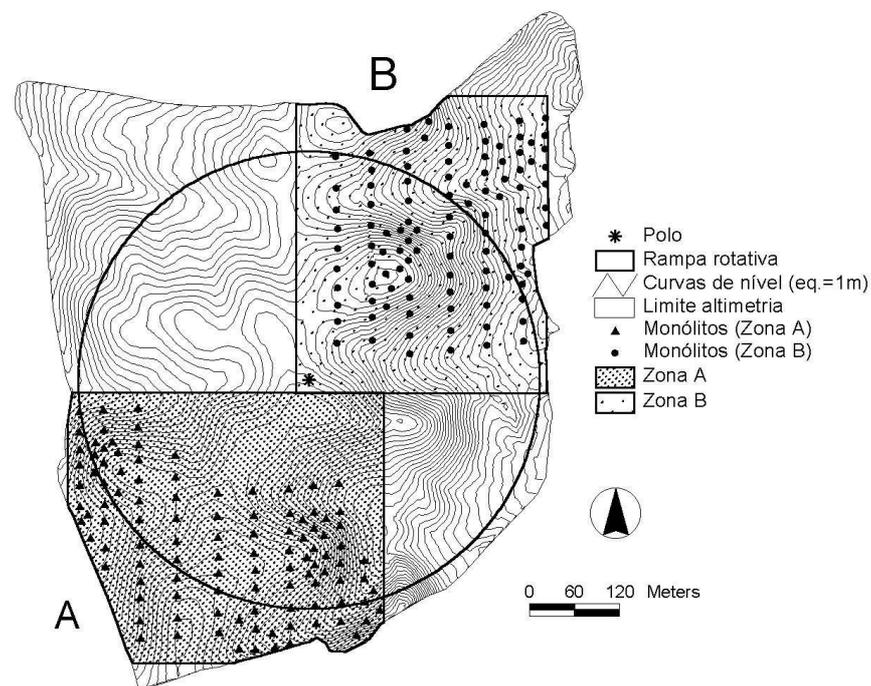
## **MATERIAIS E MÉTODOS**

O presente estudo iniciou-se em Agosto de 2001 e localiza-se na região Alentejo, Terena, Alandroal, 80 km a Este de Évora, numa área de relevo ondulado, onde se pratica a cultura de milho regada por rampa rotativa desde 1994.

Utilizou-se um sistema de posicionamento global (GPS) Trimble RTK / PP – 4700 com uma precisão planimétrica e altimétrica inferior a 0,02 m e 0,04 m, respectivamente, para efectuar: A) a carta topográfica da área regada (Figura 1); B) o

posicionamento dos monólitos de solo recolhidos (Figura 1); C) o levantamento dos pontos de produtividade (Figura 2).

A) A metodologia que esteve na base da elaboração da carta topográfica e do seu modelo digital teve por base os seguintes passos: (i) levantamento topográfico efectuado com GPS considerando uma densidade de amostragem de 5 m na linha e de 15 m na entrelinha, (ii) importação das coordenadas (x, y, z) dos pontos levantados, para o software “ArcView” (ESRI, 1999); (iii) com estes pontos, não visíveis na Figura 1 de forma a evitar a sobrecarga da mesma, foi calculada uma rede irregular de triângulos (“TIN” do software “ArcView” (ESRI, 1999)) que permitiu calcular as curvas de nível presentes na Figura 1 e o modelo de elevação numérico num formato quadrícula, com uma resolução da quadrícula de 1 m, através da extensão “Spatial Analyst”. Não se elaborou nenhuma análise geoestatística da variável topográfica devido à grande densidade de pontos recolhidos.



**Figura 1** – Topografia da zona de estudo com os locais, A e B, onde os monólitos de solo foram amostrados

Sobre o anterior modelo de elevação numérico foi calculado o declive em percentagem (D), a área contributiva específica de escoamento a montante de um

determinado ponto em metros (ACe) e o índice de humedecimento de Moore (IM) (Moore et al., 1993). A ACe, calculada no modelo digital de terreno, é a área a montante de uma determinada célula elementar, ou quadrícula, que drena para essa célula (área contributiva) dividida pela largura da célula (no caso presente a área contributiva e a área contributiva específica coincidem, dado que se usou uma quadrícula de 1 m<sup>2</sup>). O IM é calculado pela seguinte equação:  $IM = \ln(ACe/D)$ , onde Ln é o logaritmo neperiano. Quanto maior a área contributiva específica e menor o declive de um dado ponto do terreno, maior será a tendência para esse ponto apresentar um teor de humidade mais elevado.

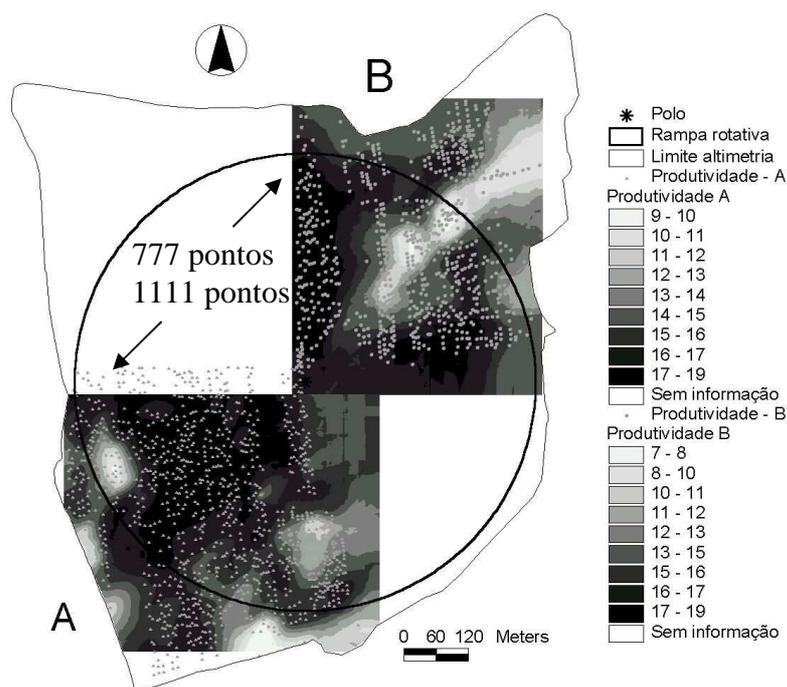
B) Nos lugares A e B foram recolhidos respectivamente 109 e 102 monólitos de solo (Figura 1). Neste trabalho, não se apresentarão os dados relativos aos solos, no entanto, o conhecimento da sua posição foi importante para a análise que explicaremos seguidamente.

Com origem nas coordenadas dos 109 locais do lugar A e 102 locais do lugar B, foi efectuada uma análise de vizinhança circular com extensões de 5, 10, 25 e 50 metros de raio. Constituiu-se assim uma base de dados que reuniu a média, o mínimo, o máximo e a amplitude das seguintes variáveis: produtividade, declive, área contributiva específica e o índice de humedecimento de Moore (Quadro 1). Para adimensionalizar as variáveis, normalizaram-se as mesmas, considerando a média e o desvio padrão para cada lugar e para os diferentes círculos considerados. A análise estatística foi efectuada através do “software” STATISTICA (1995).

**QUADRO 1 – Raio dos círculos á volta dos pontos de amostragem, considerados para o cálculo das variáveis analisadas nos 109 locais do lugar A e nos 102 locais do lugar B. Sufixos adoptados: min - valor mínimo; max - valor máximo; amp - amplitude; med - valor médio.**

Variável	Raio (m)	Variáveis na base de dados
Produtividade, P (t ha <sup>-1</sup> )	5	Pmin <sub>5</sub> , Pmax <sub>5</sub> , Pamp <sub>5</sub> , Pmed <sub>5</sub>
	10	Pmin <sub>10</sub> , Pmax <sub>10</sub> , Pamp <sub>10</sub> , Pmed <sub>10</sub>
	25	Pmin <sub>25</sub> , Pmax <sub>25</sub> , Pamp <sub>25</sub> , Pmed <sub>25</sub>
	50	Pmin <sub>50</sub> , Pmax <sub>50</sub> , Pamp <sub>50</sub> , Pmed <sub>50</sub>
Declive, D (%)	5	Dmin <sub>5</sub> , Dmax <sub>5</sub> , Damp <sub>5</sub> , Dmed <sub>5</sub>
	10	Dmin <sub>10</sub> , Dmax <sub>10</sub> , Damp <sub>10</sub> , Dmed <sub>10</sub>
	25	Dmin <sub>25</sub> , Dmax <sub>25</sub> , Damp <sub>25</sub> , Dmed <sub>25</sub>
	50	Dmin <sub>50</sub> , Dmax <sub>50</sub> , Damp <sub>50</sub> , Dmed <sub>50</sub>
	5	ACemin <sub>5</sub> , ACemax <sub>5</sub> , ACeamp <sub>5</sub> , ACemed <sub>5</sub>

Área contributiva específica, ACe ( $m^2 m^{-1}$ )	10	ACemin <sub>10</sub> , ACemax <sub>10</sub> , ACeamp <sub>10</sub> , ACemed <sub>10</sub>
	25	ACemin <sub>25</sub> , ACemax <sub>25</sub> , ACeamp <sub>25</sub> , ACemed <sub>25</sub>
	50	ACemin <sub>50</sub> , ACemax <sub>50</sub> , ACeamp <sub>50</sub> , ACemed <sub>50</sub>
Índice de Moore, IM	5	IMmin <sub>5</sub> , IMmax <sub>5</sub> , IMamp <sub>5</sub> , IMmed <sub>5</sub>
	10	IMmin <sub>10</sub> , IMmax <sub>10</sub> , IMamp <sub>10</sub> , IMmed <sub>10</sub>
	25	IMmin <sub>25</sub> , IMmax <sub>25</sub> , IMamp <sub>25</sub> , IMmed <sub>25</sub>
	50	IMmin <sub>50</sub> , IMmax <sub>50</sub> , IMamp <sub>50</sub> , IMmed <sub>50</sub>



**Figura 2** – Posição dos pontos de produtividade levantados por GPS e respectivas superfícies de produtividade dos lugares A e B obtidas por krigagem (*kriging*)

C) Utilizou-se uma ceifeira CASE com um sistema de aquisição de dados que monitorizou de uma forma pontual a produtividade instantânea e a humidade do grão. A produtividade e a humidade foram por sua vez georreferenciadas com um DGPS Trimble RTK / PP - 4700. A recolha de informação da produtividade foi efectuada em dois locais de estudo diferentes: o lugar A e o lugar B, onde foram amostrados de forma irregular respectivamente 1111 e 777 pontos (Figura 2).

A análise geoestatística foi elaborada sobre os dados brutos da produtividade considerando os pressupostos indicados por Desmet (1997), de outra forma, teria que ser efectuada a análise sobre os resíduos da equação de regressão, pois a variação

determinista da produtividade poderia mascarar a continuidade espacial da variável (Galant & Wilson 2000).

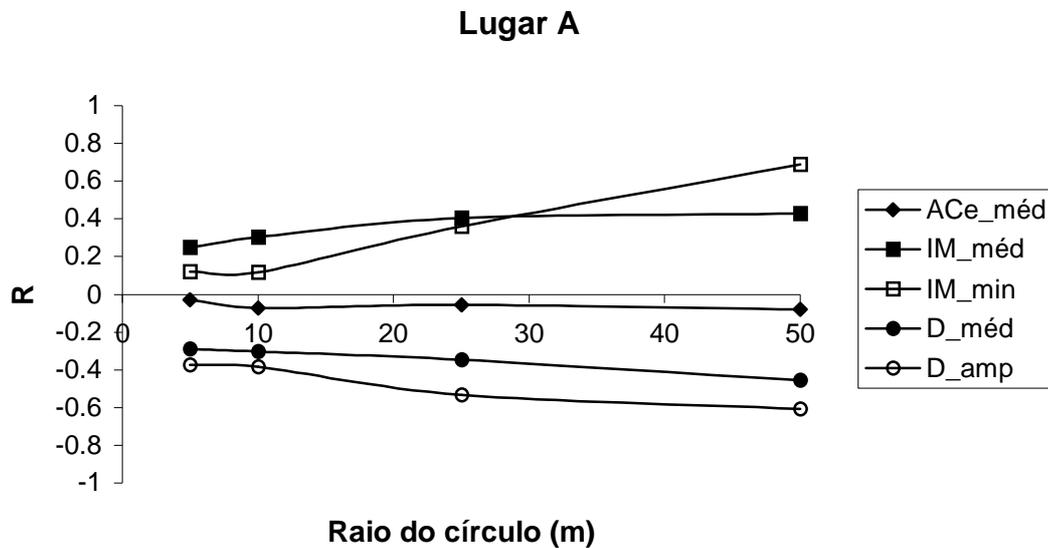
A análise dos semi-variogramas e a elaboração da krigagem (*kriging*) foi elaborada usando a extensão de geoestatística do sistema de informação geográfica ArcGIS (ESRI,2001). O ajustamento e selecção dos modelos (Quadro 2) aos semivariogramas empíricos foi baseado no erro de previsão médio (ESRI, 2001). O passo final foi criar a superfície de produtividade (Figura 2) por interpolação, com 1 m de resolução, utilizando para isso o estimador de krigagem (*kriging*).

**QUADRO 2 – Sumário dos modelos de variogramas utilizados e estatística descritiva dos dados da produtividade no lugar A e no lugar B**

Parâmetros estatísticos	Lugar:	
	A	B
n (numero de termos)	1111	777
Mínimo (t/ha)	2,6	3,0
1º Quartil (t/ha)	15,3	13,9
Mediana (t/ha)	16,8	16,4
3º Quartil (t/ha)	17,9	17,9
Máximo (t/ha)	19,2	18,9
Média (t/ha)	16,3	15,3
Desvio padrão (t/ha)	2,1	3,5
CV (coeficiente de variação - %)	12,9	23,0
Efeito de pepita (t/ha) <sup>2</sup>	1,11	3,38
Amplitude de influência (m)	134,35	84
Patamar (t/ha) <sup>2</sup>	1,485	8,96
Amplitude de influência da 2ª estrutura (m)	219,82	-
Patamar da 2ª estrutura (t/ha) <sup>2</sup>	1,866	-
Expoente	-	1,22
Modelo	Esférico	Potência

## APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Tentou-se inicialmente efectuar uma análise de regressão múltipla entre os dados absolutos da produtividade e as variáveis ACe, IM e D. Tal estratégia não se revelou muito frutífera pois o coeficiente de determinação mais elevado obtido foi de 28%. Em virtude de tal facto adimensionalizaram-se as variáveis já referidas. Nas Figuras 3, 4 e 5 apresentam-se os coeficientes de correlação obtidos entre a Produtividade média e as variáveis ACe, IM e D, para os diferentes raios de círculo considerados.

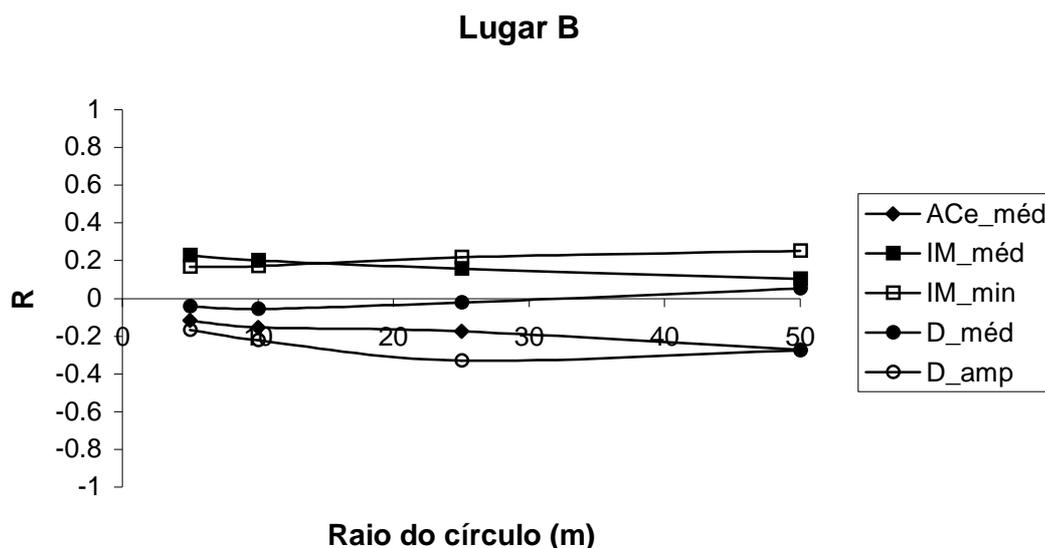


**Figura 3** – Coeficientes de correlação (R), para os diferentes raios de círculo considerados, entre a Produtividade média e as ACe\_méd, IM\_méd, IM\_min, D\_méd e D\_amp para o lugar A

No lugar A (Figura 3) podemos verificar que o IM é a variável que se correlaciona melhor com a produtividade média, correlação essa que é positiva. A ACe e o D correlacionam-se negativamente com a produtividade. Este facto pode traduzir uma maior dificuldade de infiltração da água e uma maior propensão ao seu escoamento nas zonas de maior declive. No que toca à ACe, a sua relação com a produtividade irá depender das condições locais; caso a maior parte da zona estiver numa situação de défice hídrico, a produtividade aumentará com o aumento da ACe. Caso a situação seja de excesso de água, a produtividade irá diminuir com o aumento da ACe. Por definição o IM inclui as variáveis ACe e D. Deveria portanto conseguir traduzir a eficiência topográfica com que a água é disponibilizada à planta em topografias onduladas. Este tipo de relação do IM com a eficiência topográfica da rega irá variar de solo para solo, consoante a capacidade de infiltração deste e as intensidades de precipitação praticadas. No lugar A (Figura 3) poderemos verificar que o IM\_min<sub>50</sub> é, das variáveis estudadas, aquela que apresenta coeficientes de correlação mais elevados com a produtividade média. Só esta variável explica 47,5% da variação de P\_méd<sub>50</sub> (Quadro 3).

QUADRO 3 – Análise multivariada por regressão múltipla da  $P_{\text{méd}_{50}}$  em função das variáveis  $IM_{\text{min}_{50}}$ ,  $D_{\text{amp}_{50}}$  e  $ACe_{\text{méd}_{50}}$

$P_{\text{méd}_{50}} =$	Ordenada na origem	$IM_{\text{min}_{50}}$	$D_{\text{amp}_{50}}$	$ACe_{\text{méd}_{50}}$	$R^2$
Lugar A	0,000000	+0,689326	-	-	0,475
Lugar B	0,306014	+0,270006	-0,109976	-0,001067	0,200
Lugar A+B	0,182001	+0,498046	-	-0,000741	0,280

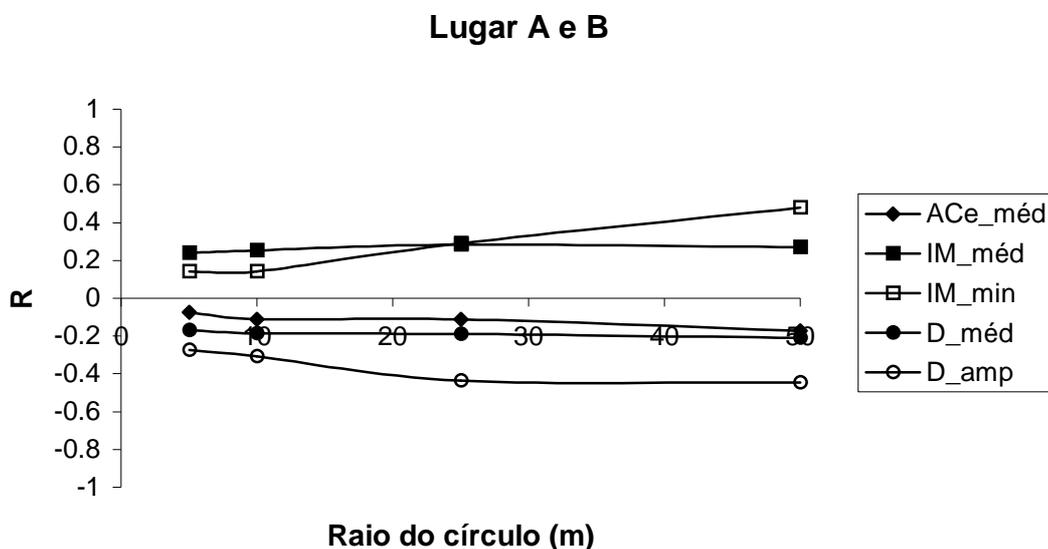


**Figura 4** – Coeficientes de correlação (R), para os diferentes raios de círculo considerados, entre a Produtividade média e as  $ACe_{\text{méd}}$ ,  $IM_{\text{méd}}$ ,  $IM_{\text{min}}$ ,  $D_{\text{méd}}$  e  $D_{\text{amp}}$  para o lugar B

No lugar B (Figura 4) nenhuma variável analisada está correlacionada com a produtividade em mais de 33%. Tal facto leva-nos a pensar que para além da eficiência topográfica da aplicação da água, também outros factores poderão estar a condicionar a produtividade neste lugar. A topografia neste caso explica apenas 20% da variação de  $P_{\text{méd}_{50}}$  (Quadro 3).

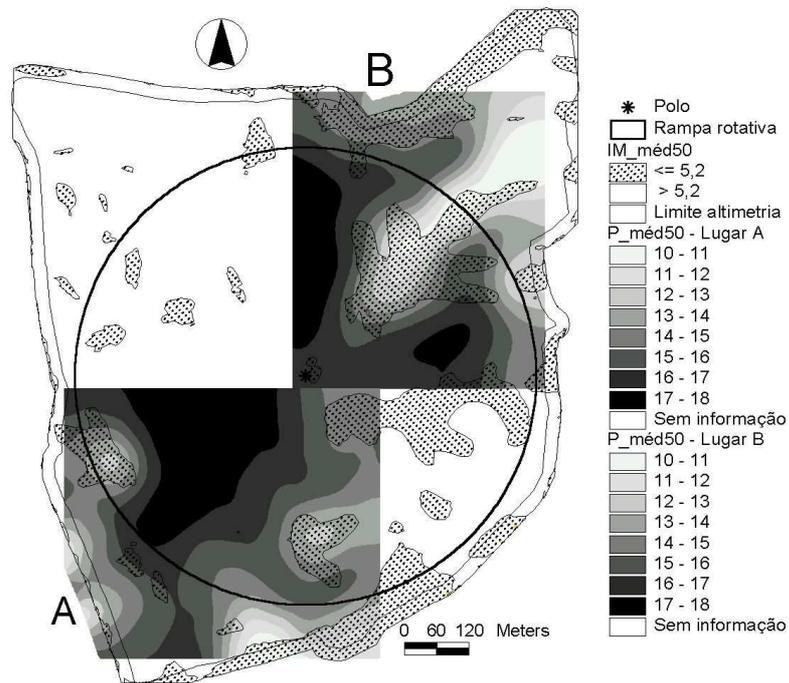
Quando realizamos a análise conjunta das duas zonas A e B (Figura 5), verificamos que os factores de correlação no conjunto são inferiores ao maior dos factores de correlação considerados isoladamente (Figura 5). A topografia neste caso explica apenas 28% da variação de  $P_{\text{méd}_{50}}$  (Quadro 3). De uma forma geral a  $ACe_{\text{méd}}$ , o  $IM_{\text{méd}}$ , o  $D_{\text{méd}}$  e o  $D_{\text{min}}$  a partir dos 25 m de raio de círculo, não aumentam o seu coeficiente de correlação com  $P_{\text{méd}}$ . No entanto, o  $IM_{\text{min}}$  viu

aumentar o seu coeficiente de correlação à medida que o raio do círculo considerado também aumentou.

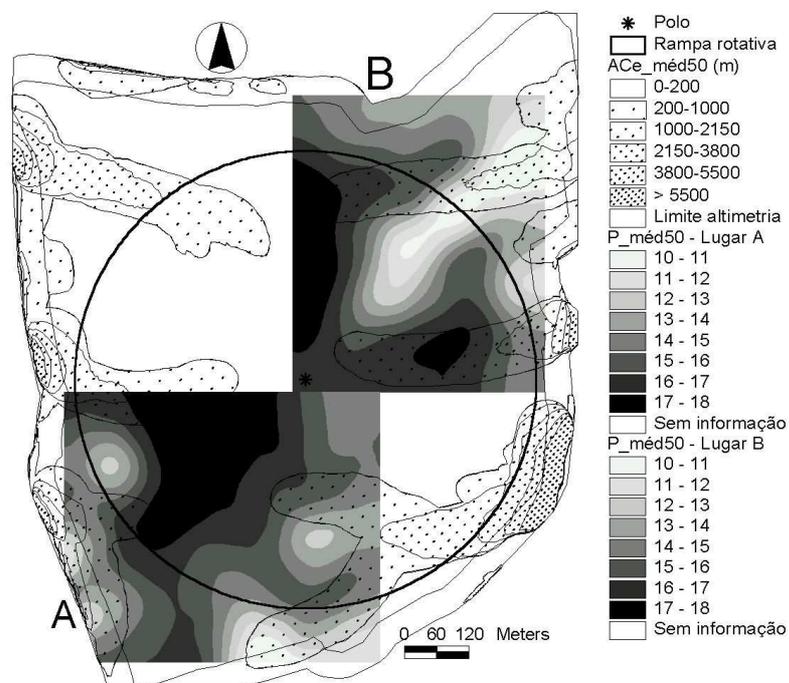


**Figura 5** – Coeficientes de correlação (R), para os diferentes raios de círculo considerados, entre a Produtividade média e as Ace\_méd, IM\_méd, IM\_min, D\_méd e D\_amp para o lugar A e B

Em função dos resultados obtidos nas Figuras 3, 4 e 5, foram elaboradas as Figuras 6 e 7. Pela análise da Figura 6 poderemos constatar que valores de IM\_méd<sub>50</sub> inferiores a 5,2 conseguem diagnosticar regiões onde os valores de P\_méd<sub>50</sub> são dos mais baixos. Tal facto indica-nos que em topografias onduladas, onde a limitação da produção se deve, na maior parte dos casos, ao factor água, o índice IM poderá ser utilizado no diagnóstico de zonas de baixa produtividade, no entanto maior experimentação será necessária para confirmar tal aptidão. Quando o problema for excesso de água, devido a escorrimentos superficiais, provenientes de zonas situadas a montante, então a ACE poderá ser um índice importante na definição de zonas que sofrem reduções de produtividade devido a problemas de excesso de água (Figura 7). Nas áreas em estudo, valores de ACE\_méd<sub>50</sub> superiores a 200 m no lugar A e 1000 m no lugar B poderão indicar zonas onde a produtividade é afectada devido a problemas de excesso de água.



**Figura 6** – Sobreposição do IM\_méd<sub>50</sub>, inferior e superior a 5,2, sobre as superfícies P\_méd<sub>50</sub> dos lugares A e B



**Figura 7** – Sobreposição do ACE\_méd<sub>50</sub>, sobre as superfícies P\_méd<sub>50</sub>, dos lugares A e B

Pelo que se disse anteriormente em relação à ACe verificamos que este pode ser um factor importante para cartografar zonas afectadas pelo excesso de água, no entanto existem zonas que com 200 m de ACe\_med<sub>50</sub> são afectadas na sua produtividade (lugar A) e outras só o serão aproximadamente a partir dos 1000 m (lugar B). Tal só fará sentido considerando diferentes condições de drenagem do solo percebendo-se, assim, a baixa correlação entre a variável ACe\_méd e P\_méd (Figuras 3, 4 e 5). Para testar esta hipótese será necessário um mapeamento cuidadoso de diversas características físicas dos solo nos lugares A e B.

## CONCLUSÕES

A confirmarem-se os resultados preliminares deste estudo, efectuado em topografias onduladas regadas por rampas rotativas, poderemos afirmar que o Índice de Moore (IM) e a Área Contributiva específica (ACe) são dois parâmetros importantes no diagnóstico de zonas de baixa produtividade devido a déficit hídrico e devido a problemas de drenagem do solo, respectivamente.

Se tais resultados forem confirmados em outras rampas rotativas, o Índice de Moore (IM) e a Área Contributiva específica (ACe) poderão ser utilizados no dimensionamento e/ou no diagnóstico deste tipo de problemas bastante frequentes em topografias onduladas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bakhsh, A., Jaynes, D. B., Colvin T. S. & Kanwar, R. S.. 2000. Spatio-temporal analysis of yield variability for a corn-soybean field in Iowa. *Trans. ASAE* 43(1):31-38
- Braga, R. P. 2000. Predicting the Spatial Pattern of Grain Yield under Water limiting conditions. PhD diss., University of Florida. Gainesville, Fla.

- Desmet, J. 1997. Effects of interpolation errors on the analysis of DEMs. *Earth Surface Processes and Landforms*, 22:563-580.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). 1999. ArcView Spatial analyst extension. ESRI, Redlands, CA, USA.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). 2001. ArcGIS Geostatistical Analyst. ESRI, Redlands, CA, USA.
- Gallant, J. C. & Wilson, J. P.. 2000. Primary topographic attributes. [in:] Terrain analysis. Principles and applications, J. P. Wilson & J. C. Gallant (eds.), Wiley & Sons, 51-85.
- Lamb, J. A., Dowdy, R. H., Anderson, J. L. & Rehm, G. W. 1997. Spatial and temporal stability of corn yields. *J. Prod. Agric.* 10(3):410-414.
- Moore, I. D., Gessler, P. E., Nielsen, G. A. & Peterson, G. A. 1993. Soil attribute prediction using terrain analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57:443-452.
- Yang, C., Peterson, C. L., Shropshire, G. J. & Otawa, T.. 1998. Spatial variability of field topography and wheat yield in the Palouse Region of the Pacific Northwest. *Tran. ASAE* 41(1):17-27.
- Sharma, P. P., Gupta, S. C. & Rawls, W. J.. 1991. Soil detachment by single raindrops of varying kinetic energy. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, nº 55, p. 301-307.
- Soares, Amílcar. 2000. Geoestatística para as Ciências da Terra e do Ambiente. IST press, Lisboa.
- STATISTICA. 1995. General Conventions and Statistics I. Vol. 1, Statsoft
- Thompson, A.L. & James, L.G. 1985. Water droplet impact and its effect on infiltration. *Trans. ASAE*, 28(5), p. 1506 - 1510. ASAE