

## CONSTITUIÇÃO DE UMA BASE DE DADOS DE SOLOS PARA O PERÍMETRO DE REGA DO DIVOR MEDIANTE INTERPRETAÇÃO GEOESTATÍSTICA

Toureiro, C. M.<sup>1</sup>; Serralheiro, R. P.<sup>1</sup>; Marques da Silva, J.<sup>1</sup> & Sousa, A. J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade de Évora, Departamento de Engenharia Rural, Apartado 94, Pólo da Mitra, 7002-554 Évora, Telf. 266760823 Fax: 266711960; [cmct@uevora.pt](mailto:cmct@uevora.pt), [ricardo@uevora.pt](mailto:ricardo@uevora.pt), [jmsilva@uevora.pt](mailto:jmsilva@uevora.pt)

<sup>2</sup>Instituto Superior Técnico, Centro de Geo-Sistemas (CVRM); Avenida Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Telf. 218417247; [ajsousa@ist.utl.pt](mailto:ajsousa@ist.utl.pt)

### Resumo

A promoção de práticas de rega eficientes – como a condução da água de rega em tempo real numa determinada área, requer o conhecimento de parâmetros de base: meteorológicos, pedológicos, e culturais, devendo determinar-se por experimentação regional.

A investigação de um sistema de gestão da rega, global e em tempo real, para o Perímetro de Rega do Divor, abrangendo toda a área regada, implicou a condução de actividade experimental nesta área regional, que incluirá a constituição de uma base de dados de solos, essencial para a programação e a execução da rega.

Este Perímetro, com uma área de aproximadamente 500 ha, caracteriza-se pela dominância dos Solos Mediterrâneos pardos (Pmg e Pm em cerca de 81%), estando também representados os Aluviossilos Modernos de Textura Mediana (A) em cerca de 14% da área e os Solos Hidromórficos de Aluvião (Ca) em cerca de 5%.

Fez-se uma amostragem das principais manchas de solo existentes no Perímetro, recolhendo cerca de 50 monólitos de solo até à profundidade de 60 cm. Fizeram-se as seguintes determinações nos monólitos: análise textural, densidade aparente e curvas humidade – tensão (a sucções de 100, 350, 1000, 3200 e 15800 cm de coluna de água), tendo os resultados obtidos foram posteriormente sujeitos a interpretação geoestatística, avaliando com maior rigor e detalhe a variabilidade espacial dos valores amostrados.

Utilizou-se a interpolação por *Krigagem* em locais não amostrados, permitindo assim gerar mapas de distribuição espacial dos atributos analisados, para todo o Perímetro de Rega do Divor. Procedeu-se ainda às seguintes determinações químicas: matéria orgânica; PH; condutividade eléctrica, catiões Na<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>.

Conclui-se pela importância do tratamento geoestatístico para conhecer bem a variabilidade espacial das características do solo, as determinantes da rega, as responsáveis pela produtividade das culturas e as que determinam os riscos de contaminação do ambiente. Tal conhecimento é factor decisivo da sustentabilidade dos sistemas de produção intensiva, como é o regadio.

Palavras-chave: Gestão Global, Base de Dados de Solos, Análise Geoestatística

## **Abstract**

The irrigation management depends on adequate measurements of soil properties. Soil water relationships are affected by soil textures, particularly by its clay content, bulk density, etc.

This work aims to generate a representation of soil properties as categorical attributes, by *Ordinary Kriging*, relative to the Irrigation District of Divor (Alentejo, South Portugal).

This Irrigation District, with an area approximately 500 ha, is characterized by: 84% Mediterranean soils, 14% Alluvial soils and 5% Alluvial Hydromorphic soils.

Some soil samples were randomly obtained from the Irrigation District, while an average values being used to describe the following attributes: texture (% clay), field capacity (% vol.), wilting point (% vol.), bulk density and total available water (mm), on two layers of the soil profile (0-30 cm and 30-60 cm). Such sampling of the main soils existing in the area was done at fifty points.

The geostatistical analysis is an important methodology to know the space variability of soil properties, which are important characteristics for the irrigation management. This knowledge is decisive for the sustainability of the irrigated agriculture.

Keywords: Irrigation Management, Soil Properties, Geostatistical Analysis, Soil Data Base, Irrigation District of Divor

## **1. Introdução e objectivos**

A gestão da água em agricultura de regadio requer o conhecimento de parâmetros pedológicos de base, importantes para determinação das curvas características de água no solo, isto é, parâmetros que traduzam o limite máximo e mínimo de retenção de água no perfil do solo, permitindo assim determinar a dotação e oportunidade de rega a praticar.

Babalola (1978) refere que existe uma grande variabilidade associada às propriedades físicas do solo, determinando a caracterização hidropedológica de uma parcela. Essa variabilidade é própria dos factores de formação que lhe deram origem, assim como da acção dos factores externos, é de referir as práticas agrícolas pouco conservativas. Neste sentido, é importante em agricultura de regadio se determine o comportamento espacial dos parâmetros que caracterizam a dinâmica da água no perfil do solo, numa determinada área regional.

Definindo-se as propriedades do solo como variáveis com continuidade espacial (Burgess e Webster, 1980), a utilização da geoestatística, como ferramenta de análise de

dados espacialmente distribuídos, poderá ser muito útil na determinação, representação e caracterização das propriedades hidropedológicas dos solos.

Soares (2006) define a geoestatística como um conjunto de métodos, técnicas e instrumentos estatísticos que caracterizam os fenómenos espaciais naturais.

Segundo Hamlett et al. (1986), a geoestatística apresenta um enorme potencial de aplicação na caracterização pedológica. No entanto, é de extrema importância proceder a uma cuidadosa análise prévia dos dados, antes de tirar conclusões, garantindo assim a qualidade dos resultados obtidos.

A recolha de amostras de solo em pontos de coordenadas conhecidas, numa determinada área, e o tratamento geoestatístico dessa informação, possibilitará a representação espacial dos parâmetros analisados, em toda a área. Isto é, uma vez quantificada a dependência espacial das variáveis em estudo, poder-se-á proceder à classificação dos solos numa determinada área. A interpolação por *Krigagem* entre os pontos amostrados permitirá representar a distribuição espacial das propriedades do solo, em toda a área, estimando-se valores para os pontos não amostrados. Esta técnica permite a estimativa de valores de forma não tendenciosa e com variância mínima.

O trabalho aqui apresentado insere-se numa linha de investigação aplicada que uma equipa do Departamento de Engenharia Rural da Universidade de Évora tem desenvolvido, cujo objectivo geral é o desenvolvimento e a validação de um conjunto de metodologias, com suporte em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e técnicas de detecção remota, para apoio da gestão da rega ao nível do Perímetro, o do Divor, no caso presente.

Tem este trabalho como objectivo geral a constituição de uma base de dados dos solos do Perímetro de Rega do Divor, onde estejam representados os parâmetros pedológicos de base essenciais para apoiar a gestão da água de rega em cada uma das parcelas regáveis do Perímetro. Neste sentido, procedeu-se ao tratamento geoestatístico da informação obtida, com a análise de 50 monólitos de solo recolhidos no Perímetro.

Os parâmetros analisados e representados espacialmente foram os seguintes: fracções granulométricas do perfil do solo (areia grossa, areia fina, limo e argila), capacidade de campo, coeficiente de emurchecimento, densidade aparente e capacidade utilizável, em duas camadas do perfil do solo (0-30 cm e 30-60 cm).

## **2. Material e métodos**

O trabalho experimental foi conduzido no Perímetro de Rega do Divor, situado nos terrenos que marginam a ribeira do Divor, distrito de Évora, concelho de Arraiolos (38° 44' N, 7° 56' W, 309 m), com uma área aproximada de 500 ha. Relativamente à sua localização na carta de Portugal, este aproveitamento hidroagrícola encontra-se localizado na folha 438 na escala 1:25 000 e na folha 36C na escala 1:50 000.

A área de estudo caracteriza-se pela dominância dos solos Mediterrâneos Pardos (Pmg e Pm) em cerca de 81%, estando também representados os Aluviossilos Modernos de

Textura Mediana (A) em cerca de 14% da área e os solos Hidromórficos de Aluvião (Ca) em cerca de 5%, como ilustra a Figura 1.

É de salientar que os principais solos regados nos perímetros do Alentejo, os actuais e os previstos no esquema de Alqueva, são do tipo Mediterrâneo, com problemas delicados de manejo hidroagrícola, com implicações em potenciais impactes ambientais negativos, e requerem soluções tecnológicas inovadoras, que contribuam para a sustentabilidade do uso hidroagrícola (Projecto POCTI, 1999). Relativamente à prática da rega, estes solos requerem uma gestão da água de rega extremamente cuidadosa, devido às suas características pedológicas resultantes do processo de argiluviação que lhes deu origem e do uso não conservativo a que tradicionalmente têm sido sujeitos. Dai a necessidade que existe em conhecer quais as características hidropedológicas que lhes estão associadas.

Durante a Primavera de 2004 e 2005 procedeu-se à recolha de 50 monólitos de solo, até à profundidade de 60 cm, nas manchas de solo mais representativas do Perímetro do Divor.

A Figura 1 ilustra a localização dos pontos de amostragem georreferenciados, onde foram recolhidos os 50 monólitos de solo posteriormente sujeitos às seguintes determinações laboratoriais: análise granulométrica, densidade aparente e curvas de retenção de água no solo (sucções de 100, 350, 1000, 3200 e 15800 cm de coluna de água).

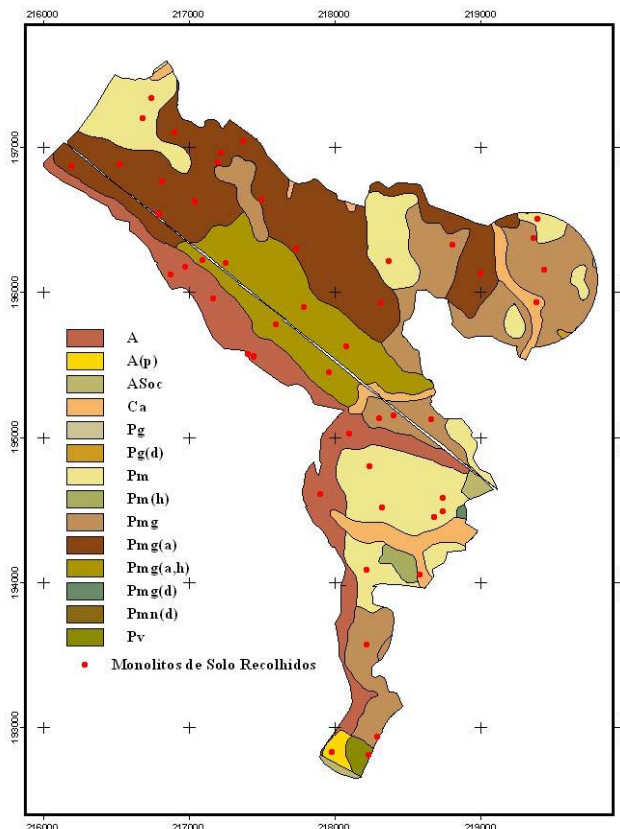


Figura 1: Localização dos pontos de amostragem georreferenciados

A recolha dos monólitos de solo foi realizada com o auxílio de uma sonda pneumática, como ilustra a Figura 2.

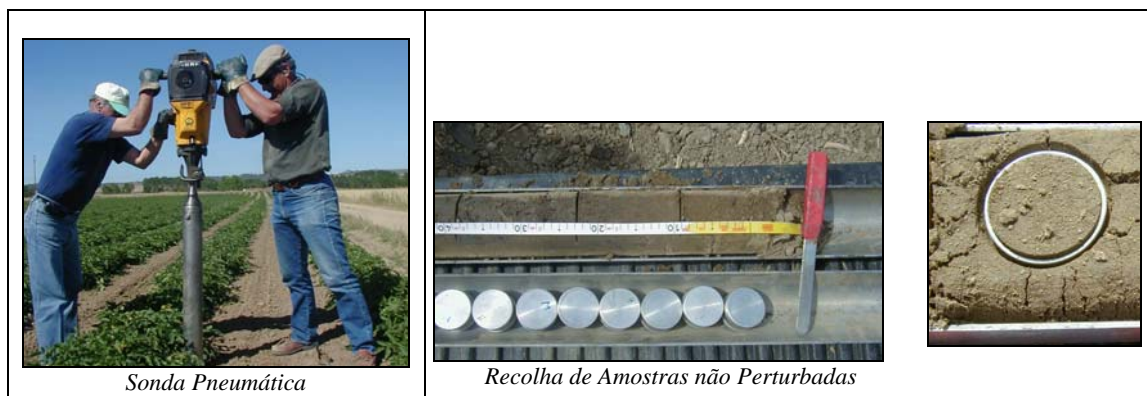


Figura 2: Metodologia utilizada na recolha dos 50 monólitos de solo (sonda pneumática)

Os dados obtidos após determinação laboratorial foram sujeitos a interpretação geoestatística, mediante a utilização do *software geoMS (Geostatistical Modelling Software)*, desenvolvido em 1999, pelo Centro de Modelização de Reservatórios Petrolíferos (CMRP) do Instituto Superior Técnico.

Os procedimentos geoestatísticos (Soares, 2006) utilizados foram:

- *A descrição univariada dos dados*, traduzindo a dispersão de cada variável analisada, através de tabelas e histogramas, medidas de localização da distribuição – média, mediana, máximo, mínimo, quartis e percentis - medidas de forma e dispersão (*Módulo geoDATA do Software geoMS*);
- *A descrição espacial dos dados*, para visualizar o modo como cada variável se dispersa no espaço, definindo-se as principais características de dispersão espacial de cada variável: anisotropias e discontinuidades. É também através da visualização do arranjo espacial dos dados experimentais que se faz o planeamento dos parâmetros fundamentais para o cálculo dos variogramas: direcções, classes de ângulos e distâncias (*Módulo geoDATA do Software geoMS*);
- *Definição dos parâmetros para o cálculo dos variogramas experimentais e modelização do variograma teórico de cada uma das variáveis (Módulo geoVAR e geoMOD do Software geoMS)*. Com a determinação do variograma teórico procura-se resumir, numa só função, os principais padrões de continuidade espacial, traduzindo as principais características de cada uma das variáveis (anisotropias, “efeitos de pepita”, etc.) que sirva de base ao processo subsequente de estimação.

Neste caso concreto, o cálculo dos variogramas foi efectuado segundo 5 direcções: azimute ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $-45^\circ$  e omnidireccional); inclinação  $0^\circ$  em todas as direcções; regularização angular  $20^\circ$  em todas as direcções, à excepção da omnidireccional  $180^\circ$ ; classes de distância igual a 500 e distância de corte 2500.

No módulo *geoMOD*, procedeu-se ao ajuste do variograma teórico (*do tipo esférico*) para cada uma das variáveis, definindo-se a sua estrutura: “efeito de pepita” (*C0*), *patamar* (*C1*) e *amplitude* (*a*). Concluído o ajustamento do variograma teórico para todas as variáveis e direcções, será possível seleccionar qual a direcção principal (a que corresponde uma maior continuidade espacial e a que foi ajustada com maior amplitude) e secundária (a que corresponde a menor amplitude).

- *Estimação geoestatística, interpolação por Krigagem Normal (Ordinary Kriging) (Módulo geoKRIG do Software geoMS)*

Neste módulo são considerados os parâmetros do modelo teórico do variograma e os parâmetros da malha de pontos ou blocos a estimar.

Definiram-se os seguintes parâmetros para a malha de pontos a estimar: coordenada real do centro do 1º bloco do canto inferior esquerdo (216 000; 192 000); coordenada real do centro do último bloco do canto superior direito (220 000; 198 000); nº de blocos da malha regular segundo cada uma das direcções (X: 401 e Y: 601); espaçamento entre pontos estimados (10 m); discretização de cada bloco (4 pontos em cada um dos eixos geográficos).

Utilizou-se a interpolação por *Krigagem Ordinária Simples* (Soares, 2006) em locais não amostrados, permitindo assim gerar mapas de distribuição espacial dos atributos analisados, para todo o Perímetro de Rega do Divor.

- *Validação Cruzada* com o objectivo de aferir a qualidade do modelo escolhido para o variograma e demais parâmetros utilizados na estimação (Davis, 1987) (*Módulo geoKRIG do Software geoMS*).

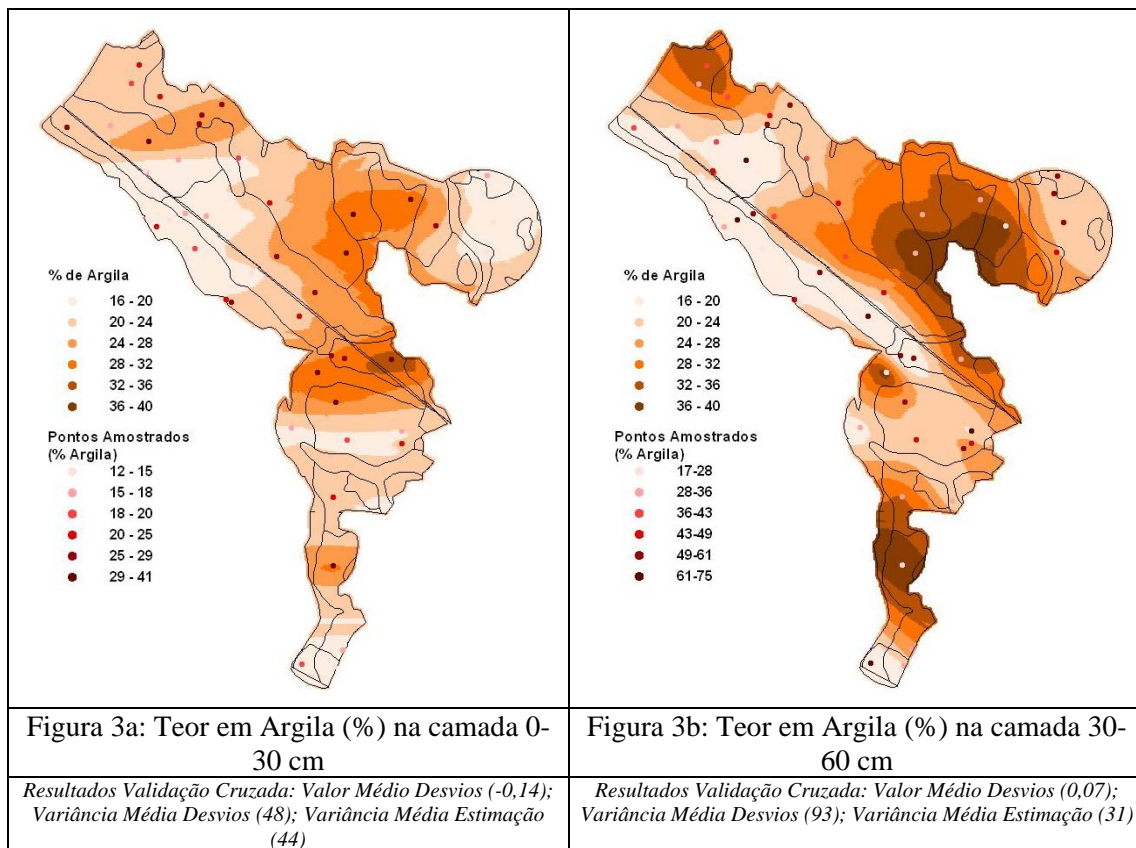
Calcularam-se os seguintes indicadores estatísticos: média dos desvios de estimação, variância média dos desvios de estimação, variância média de *krigagem*.

Os resultados obtidos no *software geoMS* foram exportados e visualizados no *software SIG ArcView*, sendo possível cruzar a informação obtida com a informação geográfica dos solos e do Perímetro.

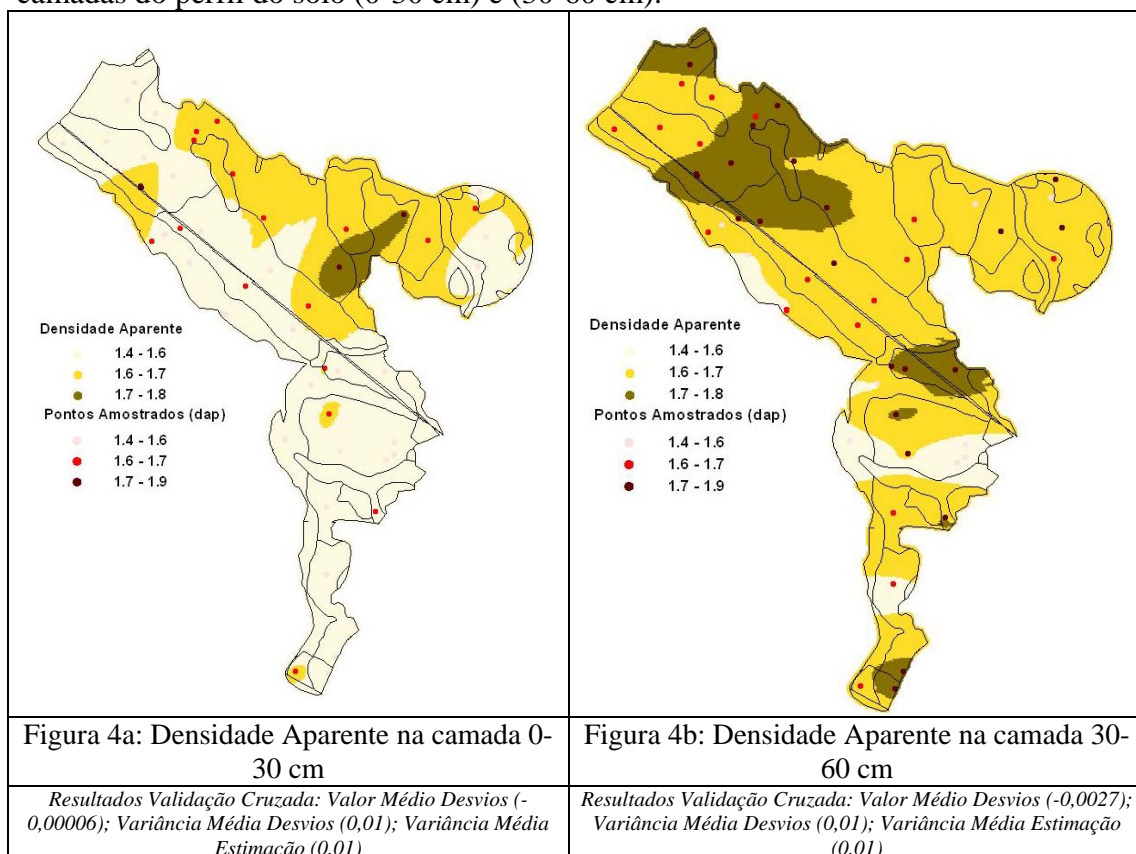
#### **4. Apresentação de resultados**

Os resultados apresentados caracterizam os solos do Perímetro de Rega do Divor, quanto à distribuição espacial, das seguintes variáveis: teor em argila (ARG), densidade aparente (dap), retenção máxima de água (capacidade de campo, CC), retenção mínima de água utilizável (coeficiente de emurchecimento, CE) e capacidade utilizável do perfil do solo (CU).

As Figuras 3a e 3b ilustram a representação espacial do teor em argila (%), nas duas camadas do perfil do solo (0-30 cm) e (30-60 cm).

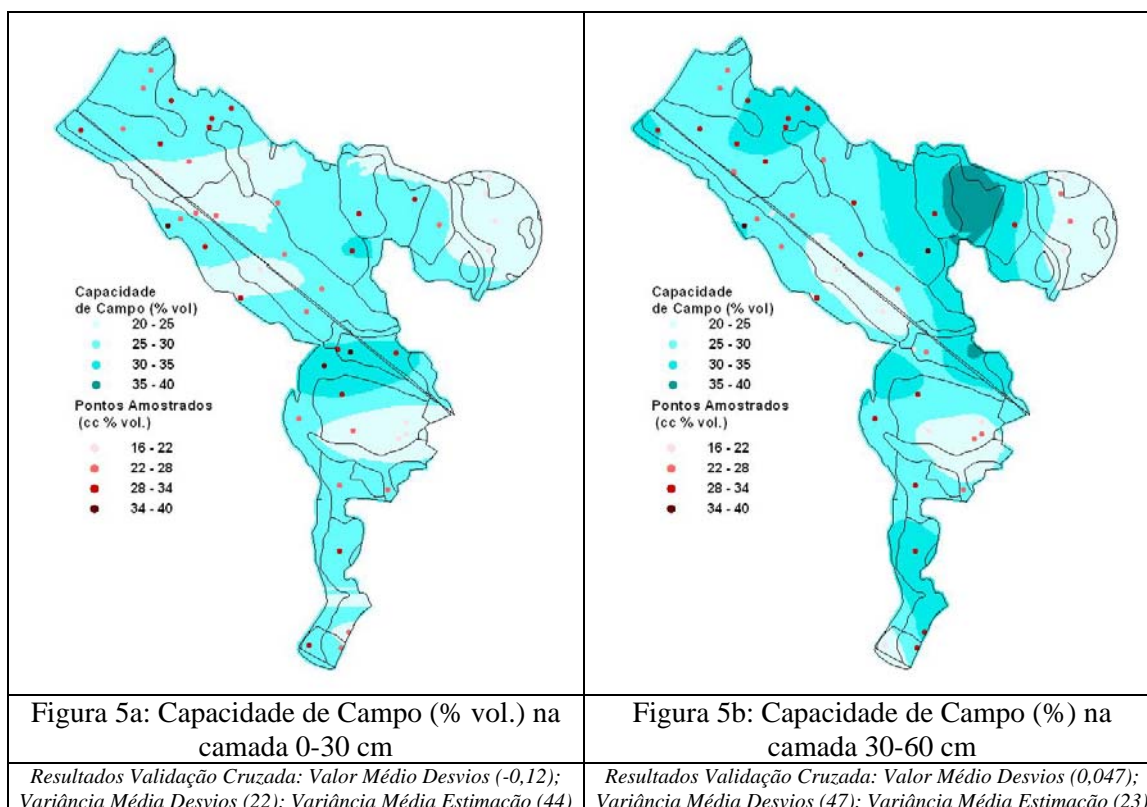


As Figuras 4a e 4b, ilustram a representação espacial da densidade aparente, nas duas camadas do perfil do solo (0-30 cm) e (30-60 cm).



Os resultados obtidos ilustram a bem a existência de um aumento do teor em argila e dos valores da densidade aparente a partir dos 30 cm de profundidade, comportamento característico dos solos mais representativos do Perímetro do Divor, os solos Mediterrâneos. Relativamente aos primeiros 30 cm do perfil do solo, apresentam teores em argila na classe dos 16 a 24% e uma densidade aparente entre 1,4 e 1,6 (cerca de 75% da área total do Perímetro); para a camada 30-60 apresentam teores em argila na classe dos 24-40 % (75% da área total do Perímetro), e uma densidade aparente entre 1,6 e 1,7 a 1,8 (cerca de 90% da área total).

As Figuras 5a e 5b, ilustra a representação espacial da capacidade de campo (% vol.), nas duas camadas do perfil do solo (0-30 cm) e (30-60 cm).



Verificou-se um ligeiro aumento na capacidade de retenção do solo na camada 30-60 cm, próprio do maior teor de argila, nesta camada.

As Figuras 6a e 6b ilustram a representação espacial do coeficiente de emurchecimento (% vol.), nas duas camadas do perfil do solo (0-30 cm) e (30-60 cm).

Verifica-se um acentuado aumento dos valores para o coeficiente de emurchecimento: cerca de 95 % da área total do Perímetro apresentam valores na classe 15-20 e 20-25 % em volume.



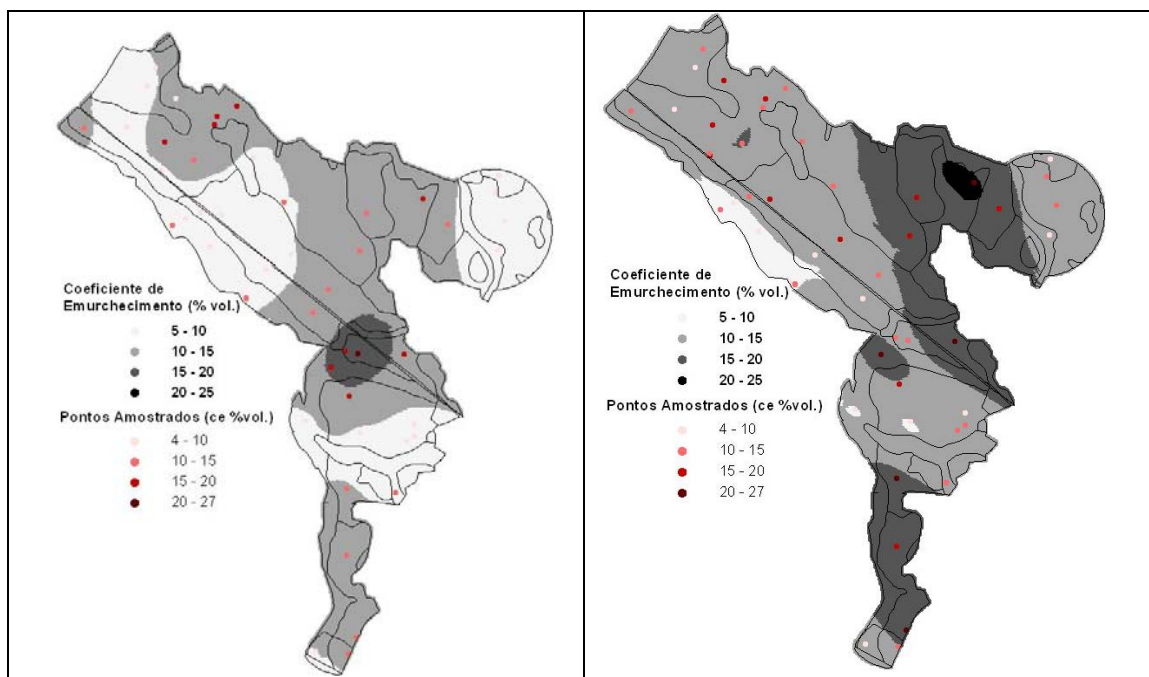


Figura 6a: Coeficiente de Emurchecimento (% vol.) na camada 0-30 cm

Figura 6b: Coeficiente de Emurchecimento (%) na camada 30-60 cm

Resultados Validação Cruzada: Valor Médio Desvios (-0,14); Variância Média Desvios (11); Variância Média Estimação (12)

Resultados Validação Cruzada: Valor Médio Desvios (0,0067); Variância Média Desvios (33); Variância Média Estimação (19)

As Figuras 7a e 7b ilustram a representação espacial da capacidade utilizável (mm), nas duas camadas do perfil do solo (0-30 cm) e (30-60 cm).

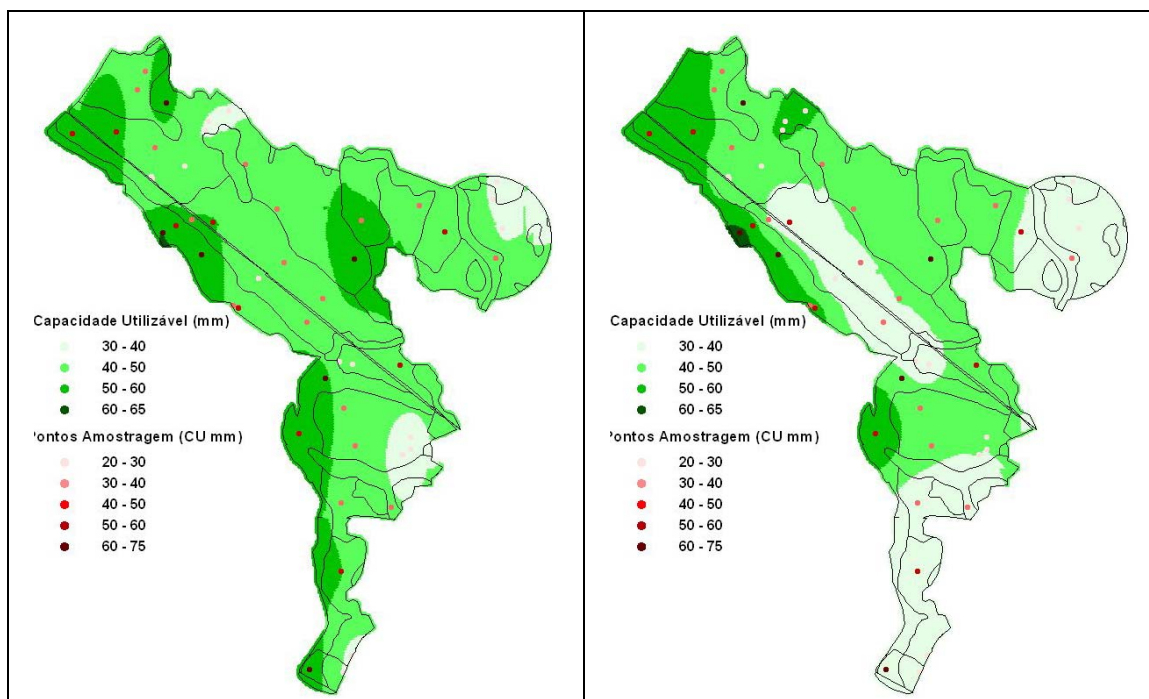


Figura 7a: Capacidade Utilizável (mm) na camada 0-30 cm

Figura 7b: Capacidade Utilizável (%) na camada 30-60 cm

Resultados Validação Cruzada: Valor Médio Desvios (0,64); Variância Média Desvios (106); Variância Média Estimação (65)

Resultados Validação Cruzada: Valor Médio Desvios (0,24); Variância Média Desvios (155); Variância Média Estimação (88)

Relativamente às características hidropedológicas dos solos do perímetro do Divor - capacidade de campo, coeficiente de emurchecimento e reserva utilizável os resultados mostram que cerca de 90% dos solos apresentam uma capacidade utilizável moderada, situando-se na classe 40-50 mm num horizonte de 30 cm de espessura.

Os resultados apresentados mostram uma grande variabilidade espacial, mesmo em locais com tipos de solo idênticos. Este facto poderá estar relacionado com a forte pressão agrícola, que cerca de 80% dos solos deste Perímetro sofreram, em virtude de terem estado sujeitos à prática continuada de canteiros de arroz. No entanto, é de considerar que o aumento do número de pontos de amostragem poderá ser uma mais valia, no produto final de uma nova estimação das variáveis analisadas.

## 5. Considerações finais

Constituiu-se uma base de dados dos solos do Perímetro de rega do Divor, que poderá ser muito útil, para integrar num esquema de gestão global da água de rega, neste Perímetro.

Quanto à fiabilidade dos resultados apresentados, é de considerar uma análise à variância média de *krigagem*, para que se possam identificar os pontos onde existe maior carência de informação, para que em trabalho futuro se proceda à amostragem de mais alguns monólitos de solo.

Conclui-se acerca da importância que a geoestatística poderá ter: uma ferramenta com um potencial muito forte no conhecimento da variabilidade espacial das características do solo, determinantes para a prática da gestão da água em regadio, propriedades hidropedológicas do perfil do solo, responsáveis pela produtividade das culturas. Tal conhecimento é factor decisivo na sustentabilidade da agricultura de regadio.

## Referências bibliográficas

BABALOLA, O. (1978). Spatial variability of soil water properties in tropical soils of Nigeria. *Soil Sci.*, Baltimore, V.126, n. 5, p269-279.

BURGESS, T.M., WEBSTER, R. (1980). Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I. The Semivariogram and punctual kriging. *J. Soil Sci.*, Oxford, v. 31, p.315-331.

DAVIS, B. (1987). Uses and Abuses of Cross-Validation in Geostatistics. 1997, *Mathematical Geology*, vol. 19, nº 3, pp 249-258.

HAMLETT, J. M. ET AL (1986). Resistant and exploratory techniques for use in semivariogram analyses. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 50 p. 868-875.

Projecto POCTI 34149/AGR/2000 (1999). “Conservação do Solo e da Água em Condições Particularmente Difíceis dos Regadios Mediterrâneos”. Anexo Técnico da

Candidatura ao Projecto de Investigação. Departamento de Engenharia Rural.  
Universidade de Évora. Évora.

SOARES, A. (2006). Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente. Colecção  
Ensino da Ciência e da Tecnologia (2ª Edição). IST Press. Lisboa.