

# Técnicas Experimentais para a Caracterização e Avaliação de Sistemas de Rega de Superfície

António Canatário Duarte\*



## Resumo

*Numa perspectiva de melhor gestão do recurso água usado na agricultura, é fundamental a caracterização e avaliação dos processos de rega, assim como a sua regular monitorização. Torna-se por isso necessário o estabelecimento de esquemas experimentais, que permitam pôr em prática várias técnicas para recolha de dados de campo, muitas vezes condicionadas pelas condições existentes. O aperfeiçoamento das técnicas usadas é deveras importante para o rigor das avaliações de campo, para que os erros de observação não sejam propagados e acumulados na avaliação dos processos de rega.*

## 1. Introdução

A água, num futuro próximo, tenderá a ser um recurso escasso e de menor qualidade, mercê da competição pelo seu consumo entre vários ramos de actividade e da sua exposição a várias fontes poluidoras. Uma das actividades consumidoras da água é, como sabemos, a agricultura, na prática da rega. De entre os processos de rega praticados

no nosso país, assumem particular importância os denominados de superfície, com especial destaque para a rega por sulcos. Definem-se como processos de rega de superfície, do ponto de vista da forma como a água é levada até às plantas na parcela de rega, aqueles que “têm em comum a chegada da água ao contacto com as plantas deslocando-se em lençol mais ou menos extenso, infiltrando-se à medida que avança sobre a parcela de rega, condicionado por formas de armação do terreno” (Serralheiro, 1985). É evidente o interesse da caracterização, avaliação e monitorização dos processos de rega, na perspectiva de uma melhor gestão dos sistemas, que leve a uma economia de água, e a uma minimização dos impactes ambientais causados a juzante e nas próprias parcelas de rega. Para que a avaliação possa ser feita de forma criteriosa, é necessário a implementação de um esquema experimental para recolha de dados de campo. É objectivo deste artigo descrever as técnicas experimentais usualmente postas em prática para caracterização dos métodos de rega de superfície, especialmente o método por sulcos.

## 2. Técnicas experimentais

Importa definir alguns conceitos relacionados com a rega de superfície. A prática de uma rega decorre em várias fases, a primeira das quais a **fase de avanço**, que se inicia com a alimentação da parcela, e termina

quando o escoamento atinge o extremo de juzante da parcela. Chama-se **tempo de avanço** ao tempo que a água demora a chegar até um ponto qualquer da parcela de rega. Segue-se a **fase de permanência**, que ocorre desde o fim da fase de avanço até que é cortada a alimentação da parcela. Se a parcela não for bloqueada no extremo de juzante, haverá um determinado volume de água que se perde, chamado **volume excedente**. Se a parcela for bloqueada no extremo de juzante, situação relacionada com pequenãs parcelas ou sem declive longitudinal (parcelas de nível), esta fase denomina-se de enchimento (Sousa, 1990). A seguir tem lugar a **fase de depleção**, iniciando-se com o corte da alimentação de água à parcela, e terminando quando começa a ficar a descoberto a superfície do solo no extremo de montante da parcela. No caso das parcelas de nível esta fase toma normalmente o nome de fase de esgotamento, dando-se o desaparecimento da água à superfície do terreno, teoricamente ao mesmo tempo, em toda a extensão da parcela. A última fase da rega chama-se **de recessão**, que corresponde ao desaparecimento da água à superfície, ocorrendo de montante para juzante nas parcelas com um determinado declive longitudinal. Nas parcelas de nível esta fase deveria teoricamente ser instantânea mas na realidade não é assim, dada a microtopografia do terreno. Entede-se por **tempo de recessão**, o tempo entre o início da rega e o momento em que a recessão atinge qualquer ponto da parcela.

As técnicas que normalmente fazem parte de um esquema experimental são condicionadas pela informação que se pretende obter, pelo material disponível para o efeito e pelas condições, muitas vezes limitantes, encontradas no campo.

## 2.1 Sistema de distribuição de água à parcela

A forma de distribuição de água à parcela depende do processo de rega, sendo este um dos aspectos em que mais se faz sentir a modernidade dos sistemas de rega de superfície, no sentido de uma maior e mais eficiente automatização dos sistemas. Nos processos de rega em que as parcelas estão *à rasa* (ausência de qualquer tipo de armação do terreno), como seja o processo por canteiros e faixas, a água é admitida para a parcela num ponto do terreno (normalmente uma pequena comporta), a partir do qual se dá o alagamento de toda a área da parcela. No processo tradicional de rega por sulcos, a distribuição da água aos sulcos (normalmente de pequeno comprimento) faz-se com a intervenção e controle permanente do regante, orientando a água para a parcela. Esta forma implica uma excessiva utilização de mão-de-obra, tendo pouco interesse quando se trata de áreas maiores. Nos modernos sistemas de rega por sulcos as formas mais frequentes de distribuição de água à parcela são as manga flexível de plástico com válvulas de alimentação individual dos sulcos, o tubo com janelas reguláveis de caudal, e pequenos tubos de plástico funcionando como sifões a partir de uma vala

de alimentação. Estes sistemas de distribuição são particularmente utilizados em parcelas com pequeno declive, apresentando os dois primeiros algumas vantagens: evitam-se perdas de água por evaporação e por infiltração, que ocorreria numa vala de alimentação não revestida; permitem uma facilidade grande na instalação e utilização durante as regas, que se traduz numa poupança de mão-de-obra, oferecendo ainda a possibilidade de regulação de caudal. Importa referir que a modalidade de tubo com janelas, pode estar associada a formas inovadoras de alimentação das parcelas, que contribuem para uma melhoria da eficiência dos sistemas. Uma das formas é a *rega intermitente* ("surge-flow"), em que os períodos de alimentação dos sulcos são alternados com períodos de espera, nos quais a água é direccionada para uma parcela anexa. Outra forma é por *cabo-rega* ("cablegation"), em que os caudais de alimentação dos sulcos vão progressivamente decrescendo até se anularem, pela deslocação de um pistão ou anteparo móvel no interior de um tubo (Figura 1).

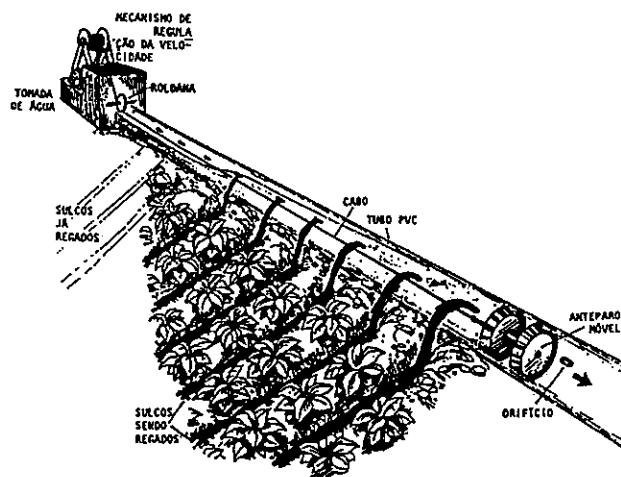


Figura 1 - Sistema automático de distribuição de água a sulcos, por cabo-rega (adaptado de SERRALHEIRO, 1985).

## 2.2 Caudais de alimentação

Quando se trata de caudais de alimentação elevados (caso dos canteiros e faixas), estes não são normalmente medidos na parcela mas à saída da boca de rega, devendo esta estar munida de um medidor de caudais devidamente calibrado. Os caudais de alimentação aos sulcos são medidos nas respectivas cabeceiras por uma das seguintes formas: com o auxílio de medidores portáteis de soleira espessa modificada, normalmente de forma transversal triangular, sendo a secção de controle trapezoidal. Estes aparelhos apresentam as seguintes vantagens: acomodação a uma larga gama de caudais (quando munidos de um sistema de relojoaria fazem também o registo dos caudais), grande tolerância para funcionamento submerso, são leves e pequenos podendo ser facilmente transportados de um lugar para outro, o que os torna especialmente indicados para a medição de caudais em sulcos; outra forma de avaliação dos caudais de alimentação é por medição volumétrica, feita com um

recipiente graduado e um cronómetro a intervalos de tempo regulares (Figura 2); esta modalidade é frequentemente usada para confirmar os caudais observados nos medidores portáteis. Mais recentemente apareceram equipamentos de avaliação de caudais por ultra-sons, normalmente munidos de um sistema de registo dos caudais.

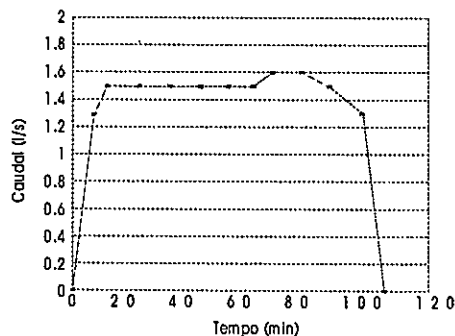


Figura 2 - Hidrograma dos caudais de alimentação a um sulco (DUARTE, 1994).

### 2.3 Caudais excedentes no fim da parcela

Esta observação de campo é feita na situação das parcelas não bloqueadas no extremo de juzante, o que acontece normalmente quando as mesmas têm um determinado declive longitudinal. É importante o conhecimento do caudal (ou quantidade de água) perdida no fim da parcela, para cálculo da eficiência de aplicação, assim como para se avaliar da necessidade de reduzir estes caudais, motivada por preocupações de economia de água ou ambientais. Os caudais no extremo juzante da parcela poderão ser medidos através das mesmas técnicas que os caudais de alimentação, com maior dificuldade para a medição volumétrica dos caudais.

### 2.4 Profundidade do escoamento

A profundidade do escoamento pode ser avaliada no troço inicial dos sulcos com o auxílio de um nível topográfico e uma mira, com o objectivo da determinação do declive da superfície livre do escoamento (Figura 3). Dado que nas parcelas de nível o declive longitudinal é teoricamente igual a zero, este declive é utilizado na equação de Manning-Strickler para determinação do coeficiente de rugosidade (Clemmens, 1989). Nas parcelas com um determinado declive longitudinal, a profundidade do escoamento é medida com pequenas régua graduadas coladas em estacas de madeira e colocadas no talvegue dos sulcos, ou régua em T apoiadas nos taludes dos sulcos e colocadas normalmente no início, meio e fim dos sulcos. No caso das parcelas com um determinado declive longitudinal o objectivo é a determinação da secção transversal do escoamento (área e perímetro molhados), para cálculo do coeficiente de rugosidade da equação de Manning-Strickler.

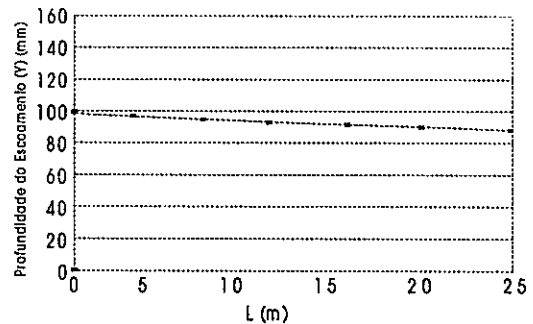


Figura 3 - Cotas da superfície livre do escoamento observadas num sulco de nível (DUARTE, 1994).

### 2.5 Caracterização da fase de avanço

As medições dos tempos de avanço da lâmina de água à superfície do terreno podem ser feitas por observação directa da chegada da água a cada uma das estações de controle (por exemplo espaçadas de 10 metros, até ao comprimento controlado da parcela) e registo dos respectivos tempos. Em alternativa podem usar-se pequenos relógios digitais, colocados junto a cada uma das estações de controle do avanço. Cada relógio tem um sensor que é activado quando a frente da lâmina de água atinge a correspondente estação, continuando a funcionar até que a água deixe de contactar o sensor. Conhecida a hora do início da rega e registado o momento de recolha de cada um dos relógios, é possível fazer a determinação correcta dos tempos de avanço. Na figura seguinte (Figura 4) podemos constatar tempos de avanço relativamente rápidos verificados na 1ª rega da campanha (Duarte, 1994), que se justificam por técnica mais aperfeiçoada na abertura dos sulcos, com compactação do rasto e taludes, apresentando a superfície onde se processa o escoamento uma rugosidade menor.

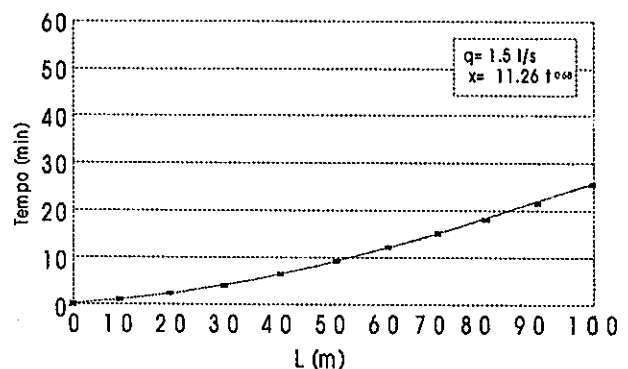


Figura 4 - Curva de avanço observada durante a 1ª rega da campanha num sulco de nível (DUARTE, 1994).

### 2.6 Caracterização da fase de recessão

Esta fase ocorre nas parcelas de nível mais ou menos ao mesmo tempo em toda a extensão da parcela, com pequenas diferenças devido a irregularidades na microtopografia do terreno. Nas parcelas de rega com declive longitudinal

esta fase ocorre de montante para juzante, mais ou menos rapidamente dependendo, entre outros factores, do caudal e do declive da superfície onde se processa o escoamento. Ley e Clyma (1980) consideram que a recessão ocorre, para uma dada estação de controle, quando a água desaparece em cerca de 50% da área da malha representada por essa estação. Os tempos de recessão, contados a partir dos tempos de avanço em cada estação de controle, podem ser registados por observação directa do desaparecimento da água à superfície, junto a cada uma das estações de controle (que podem ser as mesmas que foram usadas para o controle do avanço, ou serem mais espaçadas, por exemplo 20 metros). Podem-se usar, alternativamente, os mesmos relógios digitais que serviram para controlar o avanço, sendo desactivados quando a água deixa de contactar o sensor de cada relógio. Conhecida a hora do início da rega, a hora a que foram recolhidos os relógios e o tempo que os relógios marcam, é possível saber o tempo de avanço e o tempo de recessão (a diferença entre os dois é o tempo de infiltração). Apresentam-se a seguir duas curvas de recessão verificadas em sulcos de nível, e em sulcos com 0.72 % de declive (Figura 5).

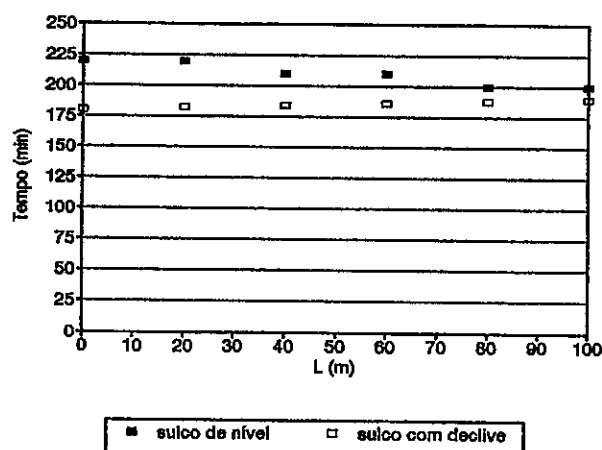


Figura 5 - Curva de recessão observada em sulcos de nível e em sulcos com declive (DUARTE, 1988 e DUARTE, 1994).

## 2.7 Geometria da secção transversal do escoamento

Os dados referentes à geometria da secção transversal dos sulcos são necessários para a determinação da área  $A$  ( $m^2$ ) e perímetro molhados da secção transversal do escoamento, para uma dada profundidade. Conjuntamente com o caudal  $Q$  ( $m^3s^{-1}$ ) e o gradiente hidráulico  $S$  ( $mm^{-1}$ ) (nas parcelas de nível) ou o declive longitudinal da rasante dos sulcos (nas parcelas com declive longitudinal), permitem o cálculo do coeficiente de rugosidade,  $n$ , da fórmula de Manning-Strickler:

$$Q = An \cdot R^{2/3} S^{1/2}$$

em que  $R$  (m) representa o raio hidráulico da secção.

Os dados desta avaliação de campo podem ainda servir

para a determinação de equações potência que relacionam a profundidade com a largura da superfície do escoamento nos sulcos, como forma da sua caracterização transversal.

A secção transversal do escoamento é frequentemente caracterizada com o auxílio de uma régua flexível que se molda à forma transversal dos sulcos, com um procedimento próprio de campo e gabinete (Duarte, 1988 e Serralheiro, 1988). Este procedimento implica o registo da forma dos sulcos em papel, e a posterior digitalização e cálculo da área e perímetro molhados da secção do escoamento, através de programa informático. Esta informação pode também ser obtida através da utilização de um perfilómetro de agulhas, descrito por Walker e Skogerboe (1987). Este dispositivo é constituído por um painel graduado em altura, tendo a parte inferior um suporte perfurado a determinado espaço, onde deslizam verticalmente um conjunto de varetas cilíndricas. Depois de apoiado nos camalhões dos sulcos e horizontalizado, libertam-se as varetas até se apoiarem na superfície do sulco, reproduzindo-se assim no painel rectangular a secção transversal do sulco (Figura 6). As coordenadas  $x$  e  $y$  de cada vareta constituem dados de entrada de um pequeno programa informático que permite o cálculo da área e perímetro molhados.

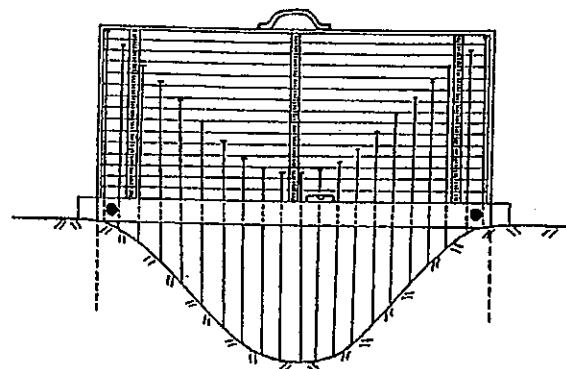


Figura 6 - Perfilómetro de agulhas (DUARTE, 1994).

## 2.8 Caracterização da infiltração

A avaliação das características de infiltração do solo é feita em pontos da parcela, supostamente representativos da mesma. Os ensaios de infiltração podem ser do tipo "duplo anel", em que a superfície de infiltração é plana, sendo por isso mais indicado quando se têm em vista os processos de rega por aspersão e localizada, ou os processos de rega de superfície em que o terreno não tem qualquer tipo de armação. O processo de infiltração em sulcos tem características particulares, que determinam que o seu estudo se faça em modalidades mais adequadas, como sejam os infiltrómetros de "sulco bloqueado"; que podem ser com ou sem retorno da água. O primeiro simula de forma mais adequada as condições dinâmicas do escoamento que se observam na parcela de rega (Serralheiro, 1988); o segundo é realizado em condições estáticas. O infiltrómetro de "sulco bloqueado" consiste

num pequeno troço de sulco (troço experimental) e dois outros troços suplementares, um a montante e outro a jusante, que têm a função de bordaduras ou de fronteira. Alguns autores (Duarte, 1988), de cada lado do troço experimental alimentam dois sulcos bordaduras com condições de infiltração idênticas e cuja finalidade é a de evitar o movimento lateral da água em condições diferentes das da rega, ainda que a interferência entre perfis de humedecimento de sulcos adjacentes se possa verificar numa fase muito adiantada da rega. Antes do teste de infiltração procede-se ao registo das coordenadas do perfil transversal do troço experimental para o cálculo do perímetro molhado correspondente, permitindo a necessária transformação dos volumes de água em alturas de água infiltrada. No início do ensaio a superfície do troço experimental é impermeabilizada com um plástico, adicionando-se de seguida água até uma altura que corresponde aproximadamente à profundidade de escoamento nos sulcos durante a rega, após o que é removido o plástico. O nível de água no troço do sulco é mantido por reposição com um recipiente cuja capacidade é conhecida, registando-se em cada vez o volume reposto e o tempo. O teste de infiltração termina após a estabilização do volume infiltrado na unidade de tempo, sinal de que se terá atingido a taxa de infiltração estabilizada.

Estas determinações são usadas, quer na selecção da equação de infiltração que melhor se ajusta aos dados dos ensaios de infiltração, quer no cálculo da taxa de infiltração final ou estabilizada. Esta é obtida por regressão linear das séries de valores de tempo e de infiltração acumulada, mas tomando só os pares de valores finais, ou seja, quando a taxa de infiltração tende para um valor estável. A Figura 7 mostra o ajustamento das equações de infiltração de Kostiakov e Kostiakov-Lewis aos dados observados em teste de infiltração.

Os parâmetros das equações de infiltração são obtidos por regressão linear, estabelecida entre as séries de valores logaritimizados de tempo e altura de água infiltrada. As equações de infiltração normalmente consideradas e aceites pela generalidade dos modelos de simulação da rega, são as de Kostiakov e Kostiakov-Lewis, descritas pela expressão genérica,

$$Z = Kt^a + i_f t + C$$

em que  $Z$  representa a infiltração acumulada em mm,  $t$  o tempo de oportunidade de infiltração em h,  $i_f$  a taxa de infiltração final ou estabilizada em  $\text{mmh}^{-1}$ ,  $C$  a altura de água infiltrada no início do processo de infiltração para preenchimento das fendas à superfície do solo em mm, e  $k$  e  $a$  os coeficientes de ajustamento obtidos experimentalmente. A forma mais simples da expressão anterior, utilizada quando os tempos de infiltração são curtos, corresponde à anulação de  $i_f$  e  $C$ , sendo denominada de Kostiakov. Para tempos mais longos, como em geral se verifica na rega de superfície, adopta-se normalmente a equação de Kostiakov-Lewis, em que se procede à anulação do termo  $C$ .

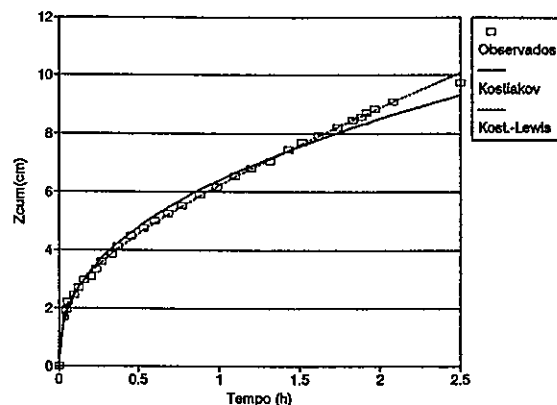


Figura 7 - Ajustamento das equações de infiltração de Kostiakov e Kostiakov-Lewis aos dados observados em teste de infiltração (DUARTE, 1994).

### 3. Considerações finais

Os dados de campo obtidos por aplicação das técnicas descritas podem servir simplesmente para uma caracterização dos sistemas de rega, ou serem usados com outros objectivos. Assim, podem constituir dados de entrada em modelos de simulação de rega de superfície (assumindo-se como valores verdadeiros dos parâmetros de rega), a fim de se realizar a avaliação ou análise de uma determinada rega efectuada. Podem também servir como parâmetros de comparação entre resultados observados em ensaios de campo e simulados por modelos, em exercícios de calibração de modelos de simulação de rega, ou no estabelecimento de metodologias de optimização de alguns parâmetros que influenciam o processo de rega, e cuja avaliação experimental é menos fiável (Duarte, 1995a).

O rigor a atingir é o possível em condições de campo, em que o controle completo do processo experimental é difícil de atingir. No entanto, pela descrição das técnicas experimentais, percebe-se a necessidade do estabelecimento criterioso de um esquema experimental e o aperfeiçoamento das técnicas usadas, imprescindível para a fiabilidade que se pretende das avaliações de campo (Duarte, 1995b).

### 4. Referências bibliográficas

- CLEMMENS, A.J. 1989. Management of basin/border irrigation systems with feedback control. *ASAE Paper No. 89-2550. ASAE International Winter Meeting*, New Orleans, Louisiana, December 12-15, 15p.
- DUARTE, A.C. 1988. *Estudo da viabilidade das novas técnicas de rega por sulcos no Perímetro do Mira: segunda abordagem*. Relatório Final do Curso de Engenharia Agrícola, U.E. Évora.
- DUARTE, A.C. 1994. *Metodologia de retorno de informação de campo para melhoria da análise e gestão da rega*

- em canteiros de nível*. Tese de Mestrado, Instituto Superior de Agronomia, U.T.L., Lisboa.
- DUARTE, A.C., P.L. SOUSA** 1995a. Metodologia para optimização dos parâmetros da infiltração em rega de superfície utilizando informação de campo. *Recursos Hídricos, Revista da Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos*, Vol. 16 Nº 2, 59 - 66.
- DUARTE, A.C., P.L. SOUSA** 1995b. Influência do rigor da avaliação da rugosidade e da recessão na análise da rega por canteiros de nível. *Recursos Hídricos, Revista da Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos*, Vol. 16 Nº 2, 67 - 73.
- LEY T.W., W. CLYMA**. 1980. Evaluation of graded border irrigation systems. In: *EWVP, Problem Identification Training Manual for On-farm Irrigation Systems*, Vol. II, Egypt Water Use and Management Project, C.S.U., Fort Collins, Colorado.
- SERRALHEIRO, R.P.** 1985. *Rega de superfície*. Curso de Hidrologia Aplicada à Região do Algarve, U.E., Évora.
- SERRALHEIRO, R.P.** 1988. *Um estudo da rega por sulcos num solo argiluvado*. Dissertação de Doutoramento, U.E., Évora.
- SOUSA, P.L.** 1990. *Modelação e Gestão em Rega por Canteiros de Nível*. Dissertação de Doutoramento, Instituto Superior de Agronomia, U.T.L., Lisboa.
- WALKER, W.R., G.V. SKOGERBOE**. 1987. *Surface irrigation - theory and practice*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 386 p.

\*Professor Adjunto da Escola Superior Agrária de Castelo Branco

# Engenharia das Ciências Agrárias

## Ramo Agrícola / Ramo Animal

### PROVAS DE INGRESSO

Biologia e Matemática ou Química ou Física.

### OBJECTIVOS

Formar profissionais com conhecimentos profundos e adequados ao mundo das Ciências Agrárias. A formação proposta é orientada para o planeamento agrícola e zootécnico, tanto a nível regional como nacional, pressupondo o crescimento da produtividade baseada nas técnicas culturais e de maneio mais eficazes e adequadas. Também a perspectiva de sustentabilidade das actividades agrárias e a defesa e protecção ambiental estão integradas.

É previsto também o tratamento dos aspectos económicos e sociais do desenvolvimento da agricultura principalmente a nível nacional, mas com a abordagem de situações no espaço da União Europeia.

### SAÍDAS PROFISSIONAIS

Para além de estarem aptos a instalar e administrar a sua própria empresa, poderão ser colocados em Organismos e Entidades Públicas e Privadas, nomeadamente:

- Organizações de Agricultores;
- Empresas Privadas;
- Ministério da Agricultura;
- Ministério da Economia;
- Autarquias;
- Ministério da Educação;
- Centros de Gestão e Gabinetes de elaboração de projectos e contabilidades;
- Instituições de Crédito;
- Indústrias Agro-Alimentares;
- Profissionais Liberais.