

INFLUÊNCIA DO RIGOR DA AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE E DA RECESSÃO NA ANÁLISE DA REGA POR CANTEIROS DE NÍVEL

INFLUENCE OF THE ACCURACY IN EVALUATING ROUGHNESS AND RECESSION IN LEVEL BASIN IRRIGATION ANALYSIS

António Canatário Duarte

Professor Adjunto da Escola Superior Agrária de Castelo Branco, Mestre em Engenharia da Rega e dos Recursos Agrícolas, membro da APRH n.º 961.

Pedro Leão de Sousa

Professor Associado do Instituto Superior de Agronomia.

RESUMO — Vários parâmetros podem influenciar a qualidade da rega em canteiros de nível, como sejam o caudal, o avanço, a forma transversal dos sulcos, a recessão e a rugosidade. De entre estes, alguns são susceptíveis de uma avaliação objectiva e rigorosa em ensaios de campo. Contudo, a recessão e a rugosidade oferecem alguma dificuldade na sua avaliação, comportando frequentemente imprecisões.

Neste estudo é feita uma análise de sensibilidade para o tempo de recessão e para o coeficiente de rugosidade, com recurso ao modelo de simulação de rega de superfície SRFR 20.5, no sentido de se avaliar da necessidade de uma observação precisa dos parâmetros referidos, em ensaios de campo.

Da análise de sensibilidade conclui-se da importância de uma avaliação rigorosa do coeficiente de rugosidade e de uma menor exigência para a observação do tempo de recessão.

Palavras chave: Rega por canteiros de nível; análise de sensibilidade; recessão; coeficiente de rugosidade.

ABSTRACT — Various parameters may disturb level basin irrigation performance, such as the inflow rate, the furrow cross-section, the recession time and the roughness coefficient. However, recession time and roughness coefficient are difficult to evaluate due to practical limitations, and easily conduct to significant errors.

A sensitivity analysis of the recession time and roughness coefficient was carried out, using the computer model SRFR 20.5.

It was concluded the importance of a rigorous field evaluation of the roughness coefficient, and a less exigent evaluation of the recession time.

Key words: Level basin irrigation; feedback control; recession; roughness coefficient; sensitivity analysis.

1. INTRODUÇÃO

A dificuldade da avaliação de campo das características de infiltração do solo e da consequente análise da rega tem levado um número crescente de investigadores a interessar-se por técnicas de retorno de informação (Clemmens, 1992). Duarte e Sousa (1995) explicitaram uma metodologia original de retorno de informação de campo, com recurso ao modelo SRFR 20.5 (Strelkoff, 1992), que permite o ajustamento dos parâmetros da infiltração a partir de observações de campo do caudal, do avanço, da recessão e da rugosidade.

Os dois primeiros factores observados, caudal e avanço, são avaliados com facilidade e com exactidão. Contudo, no que respeita à recessão e à rugosidade, verificou-se uma relativa dificuldade na sua avaliação de campo, sobretudo pela subjectividade que caracteriza a observação da recessão. A rugosidade é normalmente avaliada indirectamente, conhecidos o caudal, secção transversal e gradiente hidráulico. Reportar esse conjunto de observações a uma dada secção exige algumas aproximações, com as inerentes perdas de precisão.

Convém pois saber em que medida uma menor exactidão na observação de campo destes dois parâmetros irá influenciar a análise final da rega.

A qualidade da rega será aqui apreciada através de dois qualificadores: **Uniformidade de Distribuição (UD)**, definida como a razão entre a altura média de água infiltrada no 1.º quartil, e a altura média de água infiltrada em toda a parcela, e a **Eficiência de Aplicação (Ea)**, que corresponde ao quociente entre a altura média de água armazenada na zona radicular, e a altura média de água aplicada (Kruse et al., 1978).

2. MATERIAL E MÉTODOS

Utilizando a metodologia de optimização de parâmetros descrita em Duarte e Sousa (1995), faz-se uma pesquisa dos valores do coeficiente k para cada valor do expoente a da equação de infiltração de Kostiaikov-Lewis, dado ter sido esta que revelou um melhor ajustamento aos dados dos ensaios de infiltração. A metodologia fundamenta-se na ideia de que, para cada valor do expoente a , se seleccionam valores do coeficiente k , que minimizam a diferença entre os tempos de avanço e recessão simulados pelo modelo SRF 20.5, e os observados de forma rigorosa em ensaios de rega. Usam-se como afeidores numéricos na verificação da melhor aproximação aos tempos observados a **Soma do Quadrado dos Desvios (SQD)** para os tempos de avanço, e o **Valor absoluto |D|** para o tempo de recessão.

Neste estudo de sensibilidade impuseram-se diversos limites de variação ao tempo de recessão observado na rega com base na qual se desenvolveu a metodologia (210 minutos), que contemplassem uma imprecisão na sua avaliação de campo. Resulta, assim, um conjunto de curvas de optimização em igual número aos tempos de recessão em estudo, que interceptam em pontos distintos a curva de optimização relativa aos tempos de avanço. Procede-se de igual forma para os valores do coeficiente de rugosidade, resultantes das amplitudes de variação relativamente ao valor observado com rigor nos ensaios de rega (0.036).

Originam-se conjuntos optimizados e distintos dos parâmetros da equação de infiltração, que incorporados no ficheiro de entrada do modelo de simulação, conduzem a resultados simulados da rega diferentes, que permitem concluir da maior ou menor influência do rigor da avaliação da rugosidade e recessão na análise da rega.

2.1. Sensibilidade às variações da recessão

Numa rega bem conduzida a fase de recessão deveria teoricamente ser instantânea. Ley e Clyma (1980) consideram que a recessão ocorre, para uma dada estação de observação, quando a água desaparece em cerca de 50% da área da malha representada por essa estação. Shafrique (1984) apresenta um modelo de inércia nula para canteiros com sulcos, considerando que a recessão se inicia quando a área ainda com água à superfície do canteiro é igual ou menor que 10% da área original.

Os parâmetros da rega avaliados de forma rigorosa em ensaios de campo e utilizados neste exercício, e que fazem parte do ficheiro de entrada do modelo de simulação, são válidos para a rega relativamente à qual foi desenvolvida a metodologia de retorno de informação de campo.

As amplitudes de variação estabelecidas para o tempo de recessão, foram de: a) mais ou menos 32%, que representa numa distribuição normal a probabilidade de dispersão de um desvio padrão (64%); b) mais ou menos 20%, e c) mais ou menos 10%.

Assim, este estudo, no que respeita ao tempo de recessão, é motivado por se conhecer a subjectividade da avaliação deste parâmetro no campo e, ainda, pelo facto de o tempo de observação, em geral longo, ocasionar muitas vezes limitações práticas por se prolongar para o período nocturno. Sousa (1990) conduziu uma experimentação de campo em que registou no mesmo canteiro tempos de recessão, referindo no entanto que as observações baseadas em critérios subjectivos só terão validade se os valores sofrerem as necessárias e cuidadas correcções. Algumas das condições que vinham limitando a observação da recessão foram ultrapassadas na época em que foram efectuadas as observações de campo para este estudo, em parte pela utilização de rodas conformadoras da secção transversal dos sulcos. Esta operação teve como consequência uma melhoria das condições do escoamento, e uma regularização de pormenor das cotas da rasante dos sulcos, que permitiram uma observação rigorosa dos tempos de recessão.

Em sulcos com declive, em que a recessão ocorre de montante para jusante mais ou menos rapidamente, é geralmente mais fácil a obtenção dos tempos de recessão. Em sulcos de contorno e de terra plana, Duarte (1988) verificou um bom ajustamento dos tempos de recessão calculados por aplicação de um programa de avaliação baseado no princípio do balanço volumétrico (Serralheiro, 1988) aos valores observados em ensaios de campo. Reddell e Latorue (1986) referem a necessidade de uma cuidada medição dos tempos de recessão e de avanço, cuja diferença nos dá o tempo de oportunidade de infiltração, para que um modelo de balanço de volume possa ser usado de forma adequada.

Relativamente ao coeficiente de rugosidade, a sua avaliação em ensaios de campo pode levar a imprecisões se não for realizada com rigor. Na caracterização deste parâmetro de resistência ao escoamento utiliza-se o coeficiente n de Manning, uma vez que esta é a equação mais frequentemente empregue na simulação da rega. Do conjunto de factores intervenientes na fórmula de Manning-Strickler, aquele que requer um maior rigor na avaliação de campo é o factor de declive S , que neste processo não representa o declive longitudinal da rasante dos sulcos em regime uniforme mas o declive da superfície livre do escoamento, ou seja o gradiente hidráulico médio (S_f). Um procedimento idêntico foi também usado por Clemmens (1989). Os **objectivos** que estiveram presentes durante a caracterização deste estudo, em que é usada a metodologia descrita em Duarte e Sousa (1995), foram os seguintes:

- Testar a influência das imprecisões na avaliação do tempo de recessão na análise e gestão da rega em canteiros de nível; e
- Testar a influência de uma avaliação não rigorosa do coeficiente de rugosidade na análise e gestão da rega em canteiros de nível.

Depois de concretizado o exercício de pesquisa, obtiveram-se seis curvas de otimização válidas para os correspondentes tempos de recessão, que interceptam em pontos distintos a curva de otimização relativa aos tempos de avanço para a mesma rega, tal como pode ser observado na Fig. 1.

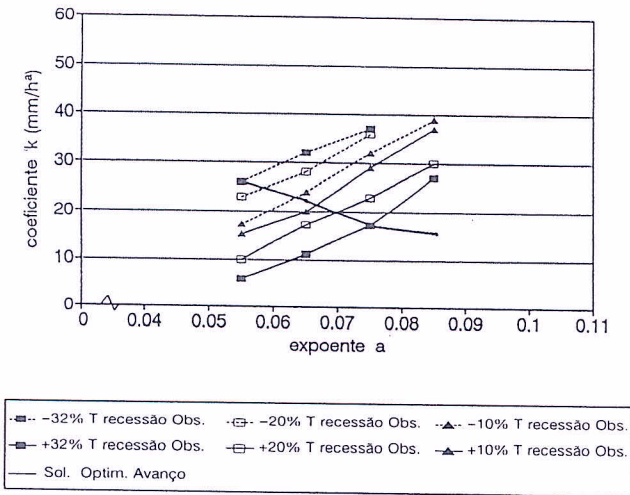


Figura 1 — Otimização dos parâmetros da equação de infiltração para tempos de recessão correspondentes a dispersões de $\pm 32\%$, $\pm 20\%$ e $\pm 10\%$, relativamente ao tempo de recessão observado na rega para a qual foi desenvolvida a metodologia

A cada um destes pontos corresponde um par de valores (a , k) da equação de infiltração, que se encontram explicitados no Quadro I.

Com estes seis pares de valores (a e k), reflectindo um igual número de condições de infiltração diferenciados, procedeu-se às correspondentes simulações do processo de rega, mantendo-se os outros parâmetros constantes. Seleccionam-se como aferidores deste estudo a Eficiência de Aplicação, Ea , e a Uniformidade de Distribuição, UD , cujos valores se encontram reunidos no Quadro II.

Analisando os valores do quadro anterior, em que são registados os resultados qualitativos da rega referentes a diferentes valores de recessão, assim como a variação percentual relativamente aos resultados com o par de parâmetros a e k da equação de infiltração otimizados

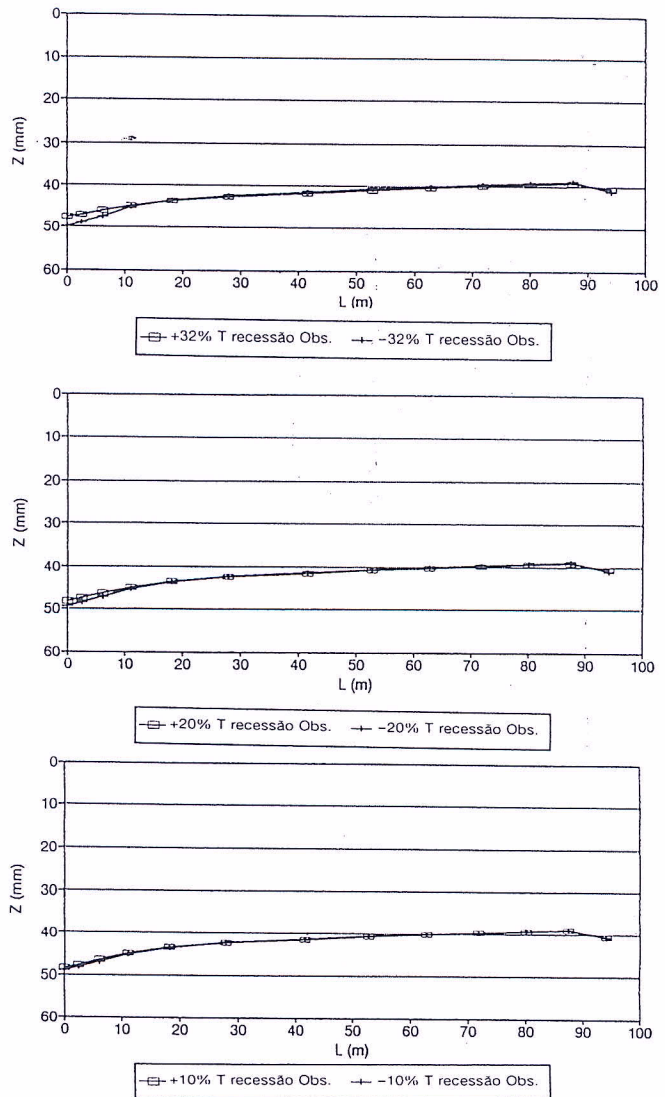


Figura 2 — Comparação dos resultados simulados do perfil de infiltração longitudinal para variações dos tempos de recessão de: a) $\pm 32\%$, b) $\pm 20\%$ e c) $\pm 10\%$

para o tempo de recessão 210 minutos ($Ea = 93.6\%$, $UD = 93.7\%$), pode-se afirmar que, para as condições presentes, um erro de avaliação do tempo de recessão dentro da amplitude de um desvio padrão tem uma influência insignificante na análise da rega e por extensão na sua gestão.

Quadro I

Parâmetros otimizados a e k da equação de infiltração para dispersões do tempo de recessão de $\pm 32\%$, $\pm 20\%$ e $\pm 10\%$

| Parâmetros da equação de infiltração | Dispersões relativamente ao tempo de recessão observado (210 min) | | | | | |
|--|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | - 32% (143 min) | - 20% (168 min) | - 10% (189 min) | + 10% (231 min) | + 20% (252 min) | + 32% (277 min) |
| Expoente a | 0.055 | 0.058 | 0.063 | 0.066 | 0.070 | 0.076 |
| Coefficiente k (mm h ^{-a}) | 26.0 | 24.3 | 22.5 | 20.9 | 20.0 | 17.1 |

Quadro II

Resultados qualitativos da rega referentes a diferentes valores de recessão (para o tempo de recessão observado tem-se $E_a = 93,6\%$ e $UD = 93,7\%$)

| Dispersões relativamente ao tempo de recessão observado (210 min) | | | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Aferidores | (143 min) | (168 min) | (189 min) | (231 min) | (252 min) | (277 min) |
| -32% | -32% | -20% | -10% | +10% | +20% | +32% |
| E_a (%) | 93,4 | 93,3 | 93,6 | 93,8 | 93,9 | 94,3 |
| Variação (%) | -0,21 | -0,32 | 0,0 | 0,21 | 0,32 | 0,75 |
| UD (%) | 93,4 | 93,4 | 93,6 | 93,8 | 94,0 | 94,4 |
| Variação (%) | -0,32 | -0,32 | -0,11 | 0,11 | 0,32 | 0,75 |

A análise dos valores do Quadro III, e a sua comparação com os do Quadro II, indica-nos que a preocupação do rigor de avaliação da recessão deverá ser maior quando se prevejam piores desempenhos dos sistemas de rega, ocasionados por uma conjugação de parâmetros de rega menos favorável.

2.2. Sensibilidade às variações da rugosidade

Ainda que em rega de superfície o regime do escoamento seja variável, aceita-se que a resistência ao avanço da água seja idêntica à que se verifica no regime uniforme para as mesmas condições de caudal e profundidade de escoamento, pelo que as avaliações experimentais deste coeficiente de resistência são efectuadas em regime uniforme tangente (Mendonça, 1975).

Quadro III

Resultados qualitativos da rega referentes a diferentes valores de recessão e conjugação de parâmetros de rega menos favorável (canteiro apresentando irregularidades na microtopografia, com $\delta = \pm 2$ cm)

| Dispersões relativamente ao tempo de recessão observado (210 min) | | | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Aferidores | (143 min) | (168 min) | (189 min) | (231 min) | (252 min) | (277 min) |
| -32% | -32% | -20% | -10% | +10% | +20% | +32% |
| E_a (%) | 67,4 | 71,0 | 79,0 | 79,7 | 80,6 | 81,5 |
| Variação (%) | -15,11 | -10,60 | -0,50 | 0,38 | 1,51 | 2,64 |
| UD (%) | 68,6 | 72,1 | 79,5 | 80,6 | 81,6 | 82,5 |
| Variação (%) | -14,36 | -9,99 | -0,75 | 0,62 | 1,87 | 3,00 |

Sousa (1990) analisou a sensibilidade deste parâmetro utilizando um modelo de simulação de inércia nula, e pôde concluir que foi em relação aos tempos de avanço que mais se fez sentir o efeito da rugosidade. Um aspecto que se revelou também importante no mesmo estudo foi o aumento da profundidade de escoamento da lâmina de água à superfície no extremo de montante com o aumento da rugosidade, o que obriga a uma preocupação acrescida no correcto dimensionamento dos sulcos de nível e/ou dos muretes dos canteiros.

Neste estudo as amplitudes de variação estabelecidas para o coeficiente de rugosidade, relativamente ao valor observado, foram de mais ou menos 16%, ou seja, mais ou menos metade de um desvio padrão numa distribuição normal, a que correspondem respectivamente valores de 0.042 e 0.030 para n .

Para cada um destes valores do coeficiente de rugosidade, são pesquisados, para cada expoente a da equação de infiltração de Kostiakov-Lewis, os valores do coeficiente k que minimizam a SQD e $|D|$ entre os tempos de avanço e recessão, observados e simulados. Deste exercício obtêm-se pontos de optimização, que unidos resultam em duas curvas que se interceptam num ponto (Fig. 3), a que corresponde um par optimizado de parâmetros da equação de infiltração.

Quadro IV

Parâmetros optimizados a e k da equação de infiltração para uma dispersão de $\pm 16\%$, relativamente a um coeficiente de rugosidade rigorosamente avaliado

| Parâmetros da equação de infiltração | - 16% Coef. Rug. Obs. ($n = 0.030$) | + 16% Coef. Rug. Obs. ($n = 0.42$) |
|---|---|--|
| Expoente a | 0.080 | 0.041 |
| Coeficiente k (mm h^{-a}) | 35.0 | 16.0 |

Com intuito de verificar os impactes desta dispersão sobre os resultados da rega foram efectuadas simulações para os dois coeficientes de rugosidade extremos (0.030 e 0.042), e para as características de infiltração correspondentes (Quadro IV). No Quadro V são registados os resultados qualitativos da rega (Ea e UD) referentes a duas condições de rugosidade, bem como a variação percentual relativamente aos resultados com o par de parâmetros a e k da equação de infiltração optimizados para o coeficiente de rugosidade 0.036 ($Ea = 93.6\%$; $UD = 93.7\%$).

A análise conjunta do Quadro V e da Fig. 4, indica uma sensibilidade mais marcada do modelo às dispersões da rugosidade do que a verificada para a recessão. Sugere pois uma atenção especial nos casos em que se atribui um valor recomendado do coeficiente de rugosidade e pressuposta-

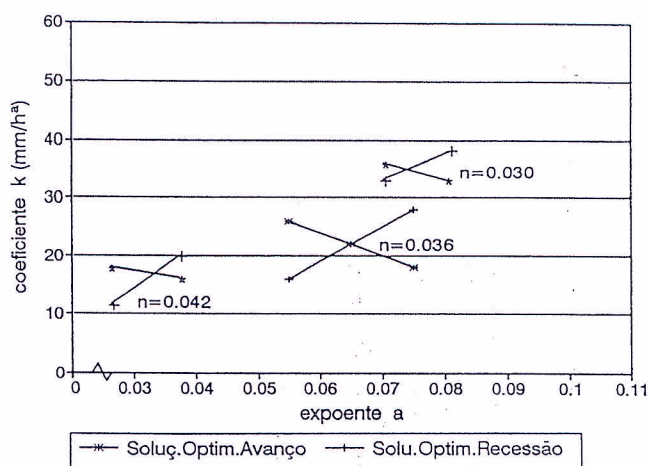


Figura 3 — Optimização dos parâmetros da equação de infiltração para coeficientes de rugosidade correspondentes a uma dispersão de $\pm 16\%$, relativamente a um valor rigorosamente avaliado em ensaio de campo ($n = 0.036$)

mente válido para determinadas condições da superfície onde se processa o escoamento. Impõe-se pois a necessidade de uma avaliação cuidada deste coeficiente, particularmente quando as condições à superfície do solo são mais adversas, como é o caso da 1.ª rega da campanha.

Quadro V

Resultados qualitativos da rega referentes a duas condições de rugosidade

| Aferidores | - 16% Coef. Rug. Obs. ($n = 0.030$) | + 16% Coef. Rug. Obs. ($n = 0.42$) |
|-------------|---|--|
| Ea (%) | 92.5 | 94.2 |
| Varição (%) | - 1.18 | 0.64 |
| UD (%) | 91.3 | 93.0 |
| Varição (%) | - 2.56 | - 0.75 |

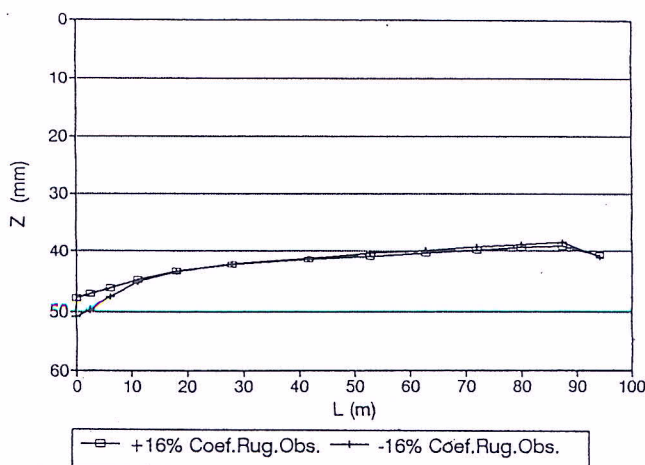


Figura 4 — Comparação dos resultados simulados dos perfis longitudinais de infiltração para os coeficientes de rugosidade $n = 0.030$ e 0.042

De forma idêntica à utilizada para o tempo de recessão, simulou-se com os parâmetros da infiltração constantes no Quadro IV, mas com uma conjugação mais desfavorável dos parâmetros da rega (caudal unitário constante de 1.1 l s^{-1} ; tempo de aplicação de 25 min e microtopografia irregular correspondente a um $\delta = \pm 2 \text{ cm}$).

Quadro VI

Resultados qualitativos da rega referentes a duas condições de rugosidade e conjugação de parâmetros de rega menos favorável (caneiro apresentando irregularidades na microtopografia, com $\delta = \pm 2 \text{ cm}$)

| Aferidores | Coef. Rug. Obs. ($n = 0.030$) | Coef. Rug. Obs. ($n = 0.42$) |
|--------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| + 16% | - 16% | + 16% |
| EA (%) | 78.1 | 79.4 |
| Variação (%) | - 1.64 | 0.04 |
| UD (%) | 78.8 | 80.0 |
| Variação (%) | - 1.62 | 0.12 |

A apreciação dos valores do Quadro VI (a variação é obtida relativamente a $Ea = 79.4\%$ e $UD = 80.1\%$, correspondente à mesma perturbação nos parâmetros de rega, mas com os parâmetros da equação de infiltração otimizados para o coeficiente de rugosidade igual a 0.036) sugere-nos um cuidado idêntico no rigor da avaliação do coeficiente de rugosidade, quando os resultados qualitativos da rega se apresentem menos favoráveis.

3. CONCLUSÕES

Das duas análises de sensibilidade realizadas no sentido de se verificar a influência dos dois parâmetros de mais difícil avaliação sobre os resultados da rega, podem-se apontar as seguintes indicações:

- Influência pouco pronunciada na avaliação da rega de uma estimativa imprecisa do tempo de recessão, facto que é suportado por variações pouco significativas de Ea e UD , e pelo desenvolvimento bastante próximo dos perfis longitudinais de infiltração, para os limites do tempo de recessão e pela dificuldade e morosidade que muitas vezes a avaliação de campo comporta, admitte-se que, para estas situações, se estime o tempo de recessão com base noutras avaliações de campo ou em observações de épocas anteriores.

A influência da estimativa imprecisa do tempo de recessão na avaliação da rega, passa a ser maior quando a conjugação dos parâmetros da rega é menos favorável, especialmente a microtopografia da parcela, pelo que nesta situação se deve proceder à observação do tempo de recessão com rigor, em ensaios de campo.

- Influência algo importante do coeficiente de rugosidade na análise da rega, evidenciada por uma maior sensibilidade de Ea e UD , e dos perfis longitudinais de infiltração. Esta conclusão sugere-nos a necessidade de uma avaliação cuidada do coeficiente de rugosidade, particularmente nas regas em que se prevêjam condições mais adversas ao escoamento, como no caso da 1.ª rega de uma campanha.

Este parâmetro mostrou-se menos sensível às irregularidades impostas do que a recessão. Contudo, deverá manter idêntica atenção nas avaliações de campo, por forma a que um maior rigor evite imprecisões na avaliação final da qualidade da rega.

Será de interesse a utilização deste modelo de simulação, em condições distintas das verificadas durante a experimentação de campo, alargando a validade desta metodologia, trabalho que nos propomos desenvolver num futuro próximo.

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*, 15 p.
- CLEMMENS, A.J. 1992. Feedback control of basin-irrigation system. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 118(3): 480-496.
- 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. Universidade de 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. 1995. *Metodologia para a optimização dos parâmetros da infiltração em rega de superfície utilizando informação de campo* (em publicação, *Recursos Hídricos*).
- 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.
- KRUSE, E.G., C.L. ANDERSON, A.A. BISHIP, F. HOTES, J. KELLER, J.L. MERRIAM, A. MILLER, J. PINNEY JR., E. SMERDON, R.J. WINGER JR. 1978. Describing irrigation efficiency and uniformity. *Proc. Am. Soc. Civil Engr., Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 104 (IR-1): 35-41.
- MENDONÇA, P.V. 1975. *Excertos das lições de hidráulica geral e agrícola*. 5.ª edição ciclostilada, Lisboa.
- REDDELL, D.L., H.F. LATORTUE. 1986. Evaluation of furrow surface storage and the Kostikov infiltration parameters using irrigation advance data. *ASAE Paper No. 86-2574. ASAE Winter Meeting, Chicago, Illinois, December 16-19*, 27 p.
- SERRALHEIRO, R.P. 1988. *Um estudo da rega por sulcos num solo argiluvado*. Dissertação de Doutoramento, Universidade de Évora.
- SHAFIQUE, M.S. 1984. *Zero-inertia model for basin-furrow irrigation*. PhD Dissertation. Colorado State University, Fort Collins.
- SOUSA, P.L. 1990. *Modelação e gestão em rega por canteiros de nível*. Dissertação de Doutoramento, Instituto Superior de Agronomia, UTL, Lisboa.
- STRELKOFF, T. 1992. *SRFR version 20.5 (experimental): a computer program for simulating flow in surface irrigation*. USDA, Agricultural Research Service, 59 p.