

INFLUÊNCIA DA LÂMINA REQUERIDA NO DESEMPENHO DA IRRIGAÇÃO POR SULCO

Carlos Alberto Vieira de Azevedo

Roberto Vieira Pordeus

Jonildo Irenildo Silveira

Vera Lúcia Antunes de Lima

José Dantas Neto

Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB. CEP 58109-970. E-mail: cazevedo@deag.ufpb.br

1 RESUMO

No Brasil, assim como na maioria dos outros países, o sistema de irrigação por sulcos é um dos mais utilizados. Dessa forma, esta pesquisa objetivou avaliar a influência da lâmina requerida no desempenho desse sistema, para diferentes tipos de solo e comprimento de sulco. A análise de sensibilidade do desempenho foi desenvolvida mediante simulações do processo da irrigação por sulco, feitas pelo procedimento matemático hidrodinâmico do modelo SIRMOD (*Surface Irrigation Simulation Model*). Em todos os estudos de caso adotou-se a estratégia de manejo com vazão constante e a condição de irrigação adequada. As simulações foram realizadas em quatro tipos de solo, seis lâminas d'água e quatro comprimentos de sulco. Para os tipos de solo estudados observa-se que, no comprimento de sulcos de 100m, a eficiência de aplicação decresce à medida que a lâmina requerida aumenta, mas no sulco com comprimento de 250m ela aumenta sempre que a lâmina requerida também aumenta.

UNITERMOS: irrigação por sulcos, desempenho, lâmina requerida

**AZEVEDO, C.A.V.; PORDEUS, R.V.; SILVEIRA, J.I.; LIMA, V.L.A. DANTAS NETO, J.
INFLUENCE OF THE REQUIRED WATER DEPTH ON THE FURROW IRRIGATION
PERFORMANCE**

2 ABSTRACT

Considering the great using of the furrow irrigation system in Brazil as well as in most countries of the world, this research had the objective of evaluating the influence of the required water depth on the performance of that system, for different soil types and furrow lengths. The performance sensitivity analysis was developed through simulations of the furrow irrigation process performed by the hydrodynamic mathematical procedure of the SIRMOD model (*Surface Irrigation Simulation Model*). For all case studies, the continuous flow management strategy and the adequate irrigation condition were adopted. The studies were accomplished in four soil types, six required water depths and four furrow lengths. For the soil types studied, it is observed that in the 100m furrow length, the

Recebido em 19/02/2003 e aprovado para publicação em 17/04/2003

DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2003v08n1p51-62>

application efficiency decreases as the required water depth increases, but in the 250 m furrow length the application efficiency increases as the required water depth increases.

KEYWORDS: furrow irrigation, performance, required water depth

3 INTRODUÇÃO

Nos primórdios, o uso da irrigação estava tipicamente voltado para assegurar a sobrevivência humana, não existindo a preocupação com o uso racional da água em virtude da ausência de grandes populações e de indústrias. No entanto, segundo Burt et al. (1997), nos dias de hoje o manejo de sistemas de irrigação tendo em vista o uso eficiente da água é quase sempre uma meta importante, além da produção das culturas.

Segundo Levien (1998), a irrigação por superfície é o mais antigo dos métodos de irrigação como também o mais praticado, ressaltando-se que há milênios era utilizada no Sul da Europa, China, Índia, Japão, Sul da América, Oriente Médio e Norte da África. Segundo Daker (1988), os sistemas superficiais permitem uma eficiência relativamente alta, podendo atingir até 80% em condições favoráveis. Outrossim, Willardson (1972) e Merriam & Keller (1978), citados por Azevedo et al. (1997), afirmam que a irrigação superficial tem o potencial de aplicar a água aos cultivos com eficiência de 70 a 85%.

O sistema de irrigação por sulcos é utilizado em todos os tipos de cultura, sobretudo aquelas plantadas em fileira, sem nenhuma restrição, sendo, no entanto, indicado para solos de textura média a argilosa. No Brasil, a irrigação por sulco predomina em grande parte dos projetos públicos, em virtude deles estarem localizados, na sua maioria, em áreas planas e na época de implantação o referido sistema de irrigação apresentava menores custos. No entanto, geralmente esses projetos operam a baixo índice de desempenho devido, principalmente, à inexistência de treinamentos a seus usuários e à falta de controle sistemático da dinâmica da hidráulica da irrigação superficial. Nos perímetros

irrigados por esse sistema, tem-se observado que grande parte dos usuários interrompe o fornecimento de água, quando a frente de avanço da água atinge o final da área desconhecendo, portanto, a importância da aplicação da lâmina d'água requerida pela cultura ao longo da área cultivada.

Conforme Gonçalves (1997), o ajuste das lâminas de água a uma distribuição de frequência permite o uso de expressões analíticas para o cálculo dos coeficientes de uniformidade e de eficiência de aplicação de água, pelo sistema. Henrique et al. (1996) analisaram o efeito do comprimento de sulcos no desempenho do sistema de irrigação, através de uma avaliação de campo em solo franco-arenoso e de uma análise de sensibilidade, utilizando o modelo SIRMOD. Os autores observaram que à medida que o comprimento do sulco aumenta, a taxa de percolação também aumenta e, conseqüentemente, diminui a eficiência de aplicação.

Embora os sistemas de irrigação por superfície serem utilizados a séculos, novos estudos estão sendo continuamente desenvolvidos visando o aperfeiçoamento do seu manejo. Dessa maneira, objetiva-se através deste trabalho, analisar a influência das lâminas requeridas em função do tipo de solo e do comprimento da parcela, e verificar o efeito conjugado da lâmina requerida e do comprimento do sulco na eficiência de aplicação e nas perdas por escoamento e percolação profunda.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A análise de sensibilidade foi realizada através de simulações do processo da irrigação por sulco, realizadas pelo modelo matemático

computacional SIRMOD (*Surface Irrigation Simulation Model*), desenvolvido pelo Prof. Dr. Wynn R. Walker da Utah State University, USA, adotando-se o procedimento matemático hidrodinâmico. Para as simulações, o modelo SIRMOD requer, como dados de entrada, os parâmetros de campo e operacionais da irrigação por sulco. Os parâmetros de campo requeridos pelo modelo são: rugosidade da superfície do solo, comprimento do sulco, declividade do sulco, seção transversal de fluxo e características de infiltração da água no solo, as quais representam o tipo de solo, enquanto os parâmetros operacionais são vazão de entrada, tempo de aplicação d'água e lâmina requerida. Consideraram-se, em todas as análises, ou seja, em todas as execuções do modelo SIRMOD, valores constantes para a declividade ($0,008 \text{ m m}^{-1}$), a rugosidade da superfície do solo (0,04) e a seção transversal de fluxo, que teve as seguintes dimensões: altura máxima de fluxo = 0,10 m; largura na altura máxima de fluxo = 0,30 m; largura na altura a 50% da altura máxima de fluxo = 0,26 m e largura da base = 0,10 m.

As análises foram feitas para os tipos de solo argiloso, franco-argiloso, franco-siltoso e franco-arenoso, dois comprimentos de sulco e seis lâminas d'água requeridas. No modelo SIRMOD, o tipo de solo é representado pelas características de infiltração descritas pela equação de Kostikov-Lewis. Os valores dos parâmetros dessa equação (k , a e f_0) utilizados foram obtidos a partir de famílias de curvas de infiltração fornecidas pelo modelo SIRMOD. Para simulação adotaram-se comprimentos do sulco e lâminas d'água requeridas, respectivamente, de 100, 150, 200 e 250 m e de 0,06, 0,09, 0,12, 0,15, 0,18 e 0,21 m, por serem valores utilizados na prática. Estabeleceu-se a condição de irrigação adequada, isto é, aplicação da lâmina d'água requerida, no final do sulco. Em todas as simulações adotou-se uma vazão constante, fornecida pelo software SURFACE (*Surface Irrigation Design*), também de autoria do Dr. Wynn R. Walker. A

vazão determinada pelo SURFACE no processo de dimensionamento de um sistema de irrigação por sulcos com fluxo contínuo, maximiza a eficiência de aplicação d'água, isto é, balanceia as perdas por percolação profunda e por escoamento superficial.

Para se garantir a condição de irrigação adequada, o tempo de aplicação de água foi dado pela soma entre o tempo de avanço no final do sulco e o tempo de oportunidade de infiltração referente à lâmina d'água requerida. O tempo de oportunidade de infiltração foi calculado através de uma planilha eletrônica, para cada solo estudado. Visando-se realizar as simulações para um tempo de aplicação correto, o modelo SIRMOD foi inicialmente executado para um tempo de aplicação arbitrário, objetivando-se determinar o tempo de avanço. Em seguida, o tempo de aplicação era ajustado com o propósito de se obter uma irrigação adequada, com simulações para cada lâmina, mantendo-se constantes os outros parâmetros. Posteriormente, ocorriam alterações no comprimento do sulco, com os respectivos ajustes no tempo de avanço. À medida que se mudava a textura de solo, ocorriam mudanças nos parâmetros de infiltração e na vazão de entrada.

A Tabela 1 apresenta 96 análises realizadas, que serviram de dados de entrada do modelo que variaram nas simulações. Como resultados do modelo SIRMOD, obtém-se as trajetórias de avanço e recessão na superfície do solo, o perfil de infiltração, a hidrografia de escoamento, o balanço de volume (volume d'água total aplicado, infiltrado e escoado) e os parâmetros de avaliação de desempenho do sistema de irrigação (eficiência de aplicação, taxas de percolação profunda e escoamento superficial, eficiência de armazenamento e uniformidade de distribuição).

Tabela 1. Dados de entrada do modelo SIRMOD utilizados na análise de sensibilidade

| DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS | ANÁLISE 1 | ANÁLISE 2 | ANÁLISE 3 | ANÁLISE 4 |
|---|------------|------------|------------|------------|
| Tipo de solo | Argiloso | Argiloso | Argiloso | Argiloso |
| k (m ³ /min/m ^a) | 0,00337 | 0,00337 | 0,00337 | 0,00337 |
| a | 0,415 | 0,415 | 0,415 | 0,415 |
| fo (m ³ /min/m) | 0,000068 | 0,000068 | 0,000068 | 0,000068 |
| L (m) | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Zreq (m ³ /m) | 0,21 | 0,18 | 0,15 | 0,12 |
| t _L (min) | 72,0 | 72,0 | 72,0 | 72,0 |
| T (min) | 1941,0 | 1595,0 | 1251,0 | 976,0 |
| t _{ap} (min) | 2013,0 | 1667,0 | 1323,0 | 1048,0 |
| q (lps) | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| | ANÁLISE 5 | ANÁLISE 6 | ANÁLISE 7 | ANÁLISE 8 |
| Tipo de solo | Argiloso | Argiloso | Argiloso | Argiloso |
| k (m ³ /min/m ^a) | 0,00337 | 0,00337 | 0,00337 | 0,00337 |
| a | 0,415 | 0,415 | 0,415 | 0,415 |
| fo (m ³ /min/m) | 0,000068 | 0,000068 | 0,000068 | 0,000068 |
| L (m) | 100 | 100 | 150 | 150 |
| Zreq (m ³ /m) | 0,09 | 0,06 | 0,21 | 0,18 |
| t _L (min) | 72,0 | 72,0 | 161,9 | 161,9 |
| T (min) | 613,0 | 332,0 | 1941,0 | 1595,0 |
| t _{ap} (min) | 685,0 | 404,0 | 2102,9 | 1756,9 |
| q (lps) | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| | ANÁLISE 9 | ANÁLISE 10 | ANÁLISE 11 | ANÁLISE 12 |
| Tipo de solo | Argiloso | Argiloso | Argiloso | Argiloso |
| k (m ³ /min/m ^a) | 0,00337 | 0,00337 | 0,00337 | 0,00337 |
| a | 0,415 | 0,415 | 0,415 | 0,415 |
| fo (m ³ /min/m) | 0,000068 | 0,000068 | 0,000068 | 0,000068 |
| L (m) | 150 | 150 | 150 | 150 |
| Zreq (m ³ /m) | 0,15 | 0,12 | 0,09 | 0,06 |
| t _L (min) | 161,9 | 161,9 | 161,9 | 161,9 |
| T (min) | 1251,0 | 976,0 | 613,0 | 332,0 |
| t _{ap} (min) | 1412,9 | 1137,9 | 774,9 | 493,9 |
| q (lps) | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| | ANÁLISE 13 | ANÁLISE 14 | ANÁLISE 15 | ANÁLISE 16 |
| Tipo de solo | Argiloso | Argiloso | Argiloso | Argiloso |
| k (m ³ /min/m ^a) | 0,00337 | 0,00337 | 0,00337 | 0,00337 |
| a | 0,415 | 0,415 | 0,415 | 0,415 |
| fo (m ³ /min/m) | 0,000068 | 0,000068 | 0,000068 | 0,000068 |
| L (m) | 200 | 200 | 200 | 200 |
| Zreq (m ³ /m) | 0,21 | 0,18 | 0,15 | 0,12 |
| t _L (min) | 320,8 | 320,8 | 320,8 | 320,8 |
| T (min) | 1941,0 | 1595,0 | 1251,8 | 976,0 |
| t _{ap} (min) | 2261,8 | 1915,8 | 1571,8 | 1296,8 |
| q (lps) | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| | ANÁLISE 17 | ANÁLISE 18 | ANÁLISE 19 | ANÁLISE 20 |
| Tipo de solo | Argiloso | Argiloso | Argiloso | Argiloso |
| k (m ³ /min/m ^a) | 0,00337 | 0,00337 | 0,00337 | 0,00337 |
| a | 0,415 | 0,415 | 0,415 | 0,415 |
| fo (m ³ /min/m) | 0,000068 | 0,000068 | 0,000068 | 0,000068 |
| L (m) | 200 | 200 | 250 | 250 |
| Zreq (m ³ /m) | 0,09 | 0,06 | 0,21 | 0,18 |
| t _L (min) | 320,8 | 320,8 | 617,8 | 617,8 |
| T (min) | 613,0 | 332,0 | 1941,0 | 1595,0 |
| t _{ap} (min) | 933,8 | 652,8 | 2558,8 | 2212,8 |
| q (lps) | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| | ANÁLISE 21 | ANÁLISE 22 | ANÁLISE 23 | ANÁLISE 24 |
| Tipo de solo | Argiloso | Argiloso | Argiloso | Argiloso |
| k (m ³ /min/m ^a) | 0,00337 | 0,00337 | 0,00337 | 0,00337 |
| a | 0,415 | 0,415 | 0,415 | 0,415 |
| fo (m ³ /min/m) | 0,000068 | 0,000068 | 0,000068 | 0,000068 |
| L (m) | 250 | 250 | 250 | 250 |
| Zreq (m ³ /m) | 0,15 | 0,12 | 0,09 | 0,06 |
| t _L (min) | 617,8 | 617,8 | 617,8 | 617,8 |
| T (min) | 1251,0 | 976,0 | 613,0 | 332,0 |
| t _{ap} (min) | 1968,8 | 1583,8 | 1230,8 | 949,8 |
| q (lps) | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 |

k, a, f_o- Parâmetros da equação de Kostiakov-Lewis; L- Comprimento do sulco; Zreq- Lâmina Requerida; t_L- Tempo de Avanço; T- Tempo de oportunidade; t_{ap}- Tempo de Aplicação e q- Vazão.

Continuação da Tabela 1

| DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS | ANÁLISE 25 | ANÁLISE 26 | ANÁLISE 27 | ANÁLISE 28 |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Tipo de solo | Franco-Argiloso | Franco-Argiloso | Franco-Argiloso | Franco-Argiloso |
| k (m ³ /min/m ²) | 0,00323 | 0,00323 | 0,00323 | 0,00323 |
| a | 0,474 | 0,474 | 0,474 | 0,474 |
| fo (m ³ /min/m) | 0,000098 | 0,000098 | 0,000098 | 0,000098 |
| L (m) | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Zreq (m ³ /m) | 0,21 | 0,18 | 0,15 | 0,12 |
| t _L (min) | 74,0 | 74,0 | 74,0 | 74,0 |
| T (min) | 1198,0 | 970,0 | 765,0 | 580,0 |
| t _{ap} (min) | 1272,0 | 1044,0 | 839,0 | 654,0 |
| q (lps) | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,62 |
| | ANÁLISE 29 | ANÁLISE 30 | ANÁLISE 31 | ANÁLISE 32 |
| Tipo de solo | Franco-Argiloso | Franco-Argiloso | Franco-Argiloso | Franco-Argiloso |
| k (m ³ /min/m ²) | 0,00323 | 0,00323 | 0,00323 | 0,00323 |
| a | 0,474 | 0,474 | 0,474 | 0,474 |
| fo (m ³ /min/m) | 0,000098 | 0,000098 | 0,000098 | 0,000098 |
| L (m) | 100 | 100 | 150 | 150 |
| Zreq (m ³ /m) | 0,09 | 0,06 | 0,21 | 0,18 |
| t _L (min) | 74,0 | 74,0 | 194,5 | 194,5 |
| T (min) | 389,0 | 210,0 | 1198,0 | 970,0 |
| t _{ap} (min) | 463,0 | 284,0 | 1392,5 | 1064,5 |
| q (lps) | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,62 |
| | ANÁLISE 33 | ANÁLISE 34 | ANÁLISE 35 | ANÁLISE 36 |
| Tipo de solo | Franco-Argiloso | Franco-Argiloso | Franco-Argiloso | Franco-Argiloso |
| k (m ³ /min/m ²) | 0,00323 | 0,00323 | 0,00323 | 0,00323 |
| a | 0,474 | 0,474 | 0,474 | 0,474 |
| fo (m ³ /min/m) | 0,000098 | 0,000098 | 0,000098 | 0,000098 |
| L (m) | 150 | 150 | 150 | 150 |
| Zreq (m ³ /m) | 0,15 | 0,12 | 0,09 | 0,06 |
| t _L (min) | 194,5 | 194,5 | 194,5 | 194,5 |
| T (min) | 765,0 | 580,0 | 389,0 | 210,0 |
| t _{ap} (min) | 959,5 | 774,5 | 583,5 | 404,5 |
| q (lps) | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,62 |
| | ANÁLISE 37 | ANÁLISE 38 | ANÁLISE 39 | ANÁLISE 40 |
| Tipo de solo | Franco-Argiloso | Franco-Argiloso | Franco-Argiloso | Franco-Argiloso |
| k (m ³ /min/m ²) | 0,00323 | 0,00323 | 0,00323 | 0,00323 |
| a | 0,474 | 0,474 | 0,474 | 0,474 |
| fo (m ³ /min/m) | 0,000098 | 0,000098 | 0,000098 | 0,000098 |
| L (m) | 200 | 200 | 200 | 200 |
| Zreq (m ³ /m) | 0,21 | 0,18 | 0,15 | 0,12 |
| t _L (min) | 464,5 | 464,5 | 464,5 | 464,5 |
| T (min) | 1198,0 | 970,0 | 765,0 | 580,0 |
| t _{ap} (min) | 1662,5 | 1434,5 | 1229,5 | 1044,5 |
| q (lps) | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,62 |
| | ANÁLISE 41 | ANÁLISE 42 | ANÁLISE 43 | ANÁLISE 44 |
| Tipo de solo | Franco-Argiloso | Franco-Argiloso | Franco-Argiloso | Franco-Argiloso |
| k (m ³ /min/m ²) | 0,00323 | 0,00323 | 0,00323 | 0,00323 |
| a | 0,474 | 0,474 | 0,474 | 0,474 |
| fo (m ³ /min/m) | 0,000098 | 0,000098 | 0,000098 | 0,000098 |
| L (m) | 200 | 200 | 250 | 250 |
| Zreq (m ³ /m) | 0,09 | 0,06 | 0,21 | 0,18 |
| t _L (min) | 464,5 | 464,5 | 1212,4 | 1212,4 |
| T (min) | 389,0 | 210,0 | 1198,0 | 970,0 |
| t _{ap} (min) | 853,5 | 674,5 | 2410,4 | 2182,4 |
| q (lps) | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,62 |
| | ANÁLISE 45 | ANÁLISE 46 | ANÁLISE 47 | ANÁLISE 48 |
| Tipo de solo | Franco-Argiloso | Franco-Argiloso | Franco-Argiloso | Franco-Argiloso |
| k (m ³ /min/m ²) | 0,00323 | 0,00323 | 0,00323 | 0,00323 |
| a | 0,474 | 0,474 | 0,474 | 0,474 |
| fo (m ³ /min/m) | 0,000098 | 0,000098 | 0,000098 | 0,000098 |
| L (m) | 250 | 250 | 250 | 250 |
| Zreq (m ³ /m) | 0,15 | 0,12 | 0,09 | 0,06 |
| t _L (min) | 1212,4 | 1212,4 | 1212,4 | 1212,4 |
| T (min) | 765,0 | 580,0 | 389,0 | 210,0 |
| t _{ap} (min) | 1977,4 | 1792,4 | 1601,4 | 1422,4 |
| q (lps) | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,62 |

k, a, fo- Parâmetros da equação de Kostiakov-Lewis; L- Comprimento do sulco; Zreq- Lâmina Requerida; t_L- Tempo de Avanço; T- Tempo de oportunidade; t_{ap}- Tempo de Aplicação e q- Vazão.

Continuação da Tabela 1

| DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS | ANÁLISE 49 | ANÁLISE 50 | ANÁLISE 51 | ANÁLISE 52 |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Tipo de solo | Franco-Siltoso | Franco-Siltoso | Franco-Siltoso | Franco-Siltoso |
| k (m ³ /min/m ²) | 0,00320 | 0,00320 | 0,00320 | 0,00320 |
| a | 0,529 | 0,529 | 0,529 | 0,529 |
| fo (m ³ /min/m) | 0,000136 | 0,000136 | 0,000136 | 0,000136 |
| L (m) | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Zreq (m ³ /m) | 0,21 | 0,18 | 0,15 | 0,12 |
| t _L (min) | 39,3 | 39,3 | 39,3 | 39,3 |
| T (min) | 759,0 | 619,0 | 484,0 | 356,0 |
| t _{ap} (min) | 798,3 | 658,3 | 524,3 | 396,3 |
| q (lps) | 1,07 | 1,07 | 1,07 | 1,07 |
| | ANÁLISE 53 | ANÁLISE 54 | ANÁLISE 55 | ANÁLISE 56 |
| Tipo de solo | Franco-Siltoso | Franco-Siltoso | Franco-Siltoso | Franco-Siltoso |
| k (m ³ /min/m ²) | 0,00320 | 0,00320 | 0,00320 | 0,00320 |
| a | 0,529 | 0,529 | 0,529 | 0,529 |
| fo (m ³ /min/m) | 0,000136 | 0,000136 | 0,000136 | 0,000136 |
| L (m) | 100 | 100 | 150 | 150 |
| Zreq (m ³ /m) | 0,09 | 0,06 | 0,21 | 0,18 |
| t _L (min) | 39,3 | 39,3 | 100,0 | 100,0 |
| T (min) | 238,0 | 131,0 | 759,0 | 619,0 |
| t _{ap} (min) | 277,3 | 170,3 | 859,0 | 719,0 |
| q (lps) | 1,07 | 1,07 | 1,07 | 1,07 |
| | ANÁLISE 57 | ANÁLISE 58 | ANÁLISE 59 | ANÁLISE 60 |
| Tipo de solo | Franco-Siltoso | Franco-Siltoso | Franco-Siltoso | Franco-Siltoso |
| k (m ³ /min/m ²) | 0,00320 | 0,00320 | 0,00320 | 0,00320 |
| a | 0,529 | 0,529 | 0,529 | 0,529 |
| fo (m ³ /min/m) | 0,000136 | 0,000136 | 0,000136 | 0,000136 |
| L (m) | 150 | 150 | 150 | 150 |
| Zreq (m ³ /m) | 0,15 | 0,12 | 0,09 | 0,06 |
| t _L (min) | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| T (min) | 484,0 | 356,0 | 237,0 | 131,0 |
| t _{ap} (min) | 584,0 | 456,0 | 337,0 | 231,0 |
| q (lps) | 1,07 | 1,07 | 1,07 | 1,07 |
| | ANÁLISE 61 | ANÁLISE 62 | ANÁLISE 63 | ANÁLISE 64 |
| Tipo de solo | Franco-Siltoso | Franco-Siltoso | Franco-Siltoso | Franco-Siltoso |
| k (m ³ /min/m ²) | 0,00320 | 0,00320 | 0,00320 | 0,00320 |
| a | 0,529 | 0,529 | 0,529 | 0,529 |
| fo (m ³ /min/m) | 0,000136 | 0,000136 | 0,000136 | 0,000136 |
| L (m) | 200 | 200 | 200 | 200 |
| Zreq (m ³ /m) | 0,21 | 0,18 | 0,15 | 0,12 |
| t _L (min) | 227,0 | 227,0 | 227,0 | 227,0 |
| T (min) | 759,0 | 619,0 | 484,0 | 356,0 |
| t _{ap} (min) | 986,0 | 846,0 | 711,0 | 573,0 |
| q (lps) | 1,07 | 1,07 | 1,07 | 1,07 |
| | ANÁLISE 65 | ANÁLISE 66 | ANÁLISE 67 | ANÁLISE 68 |
| Tipo de solo | Franco-Siltoso | Franco-Siltoso | Franco-Siltoso | Franco-Siltoso |
| k (m ³ /min/m ²) | 0,00320 | 0,00320 | 0,00320 | 0,00320 |
| a | 0,529 | 0,529 | 0,529 | 0,529 |
| fo (m ³ /min/m) | 0,000136 | 0,000136 | 0,000136 | 0,000136 |
| L (m) | 200 | 200 | 250 | 250 |
| Zreq (m ³ /m) | 0,09 | 0,06 | 0,21 | 0,18 |
| t _L (min) | 227,0 | 227,0 | 500,1 | 500,1 |
| T (min) | 237,0 | 131,0 | 759,0 | 619,0 |
| t _{ap} (min) | 464,0 | 358,0 | 1259,1 | 1119,1 |
| q (lps) | 1,07 | 1,07 | 1,07 | 1,07 |
| | ANÁLISE 69 | ANÁLISE 70 | ANÁLISE 71 | ANÁLISE 72 |
| Tipo de solo | Franco-Siltoso | Franco-Siltoso | Franco-Siltoso | Franco-Siltoso |
| k (m ³ /min/m ²) | 0,00320 | 0,00320 | 0,00320 | 0,00320 |
| a | 0,529 | 0,529 | 0,529 | 0,529 |
| fo (m ³ /min/m) | 0,000136 | 0,000136 | 0,000136 | 0,000136 |
| L (m) | 250 | 250 | 250 | 250 |
| Zreq (m ³ /m) | 0,15 | 0,12 | 0,09 | 0,06 |
| t _L (min) | 500,1 | 500,1 | 500,1 | 500,1 |
| T (min) | 484,0 | 356,0 | 237,0 | 131,0 |
| t _{ap} (min) | 984,1 | 856,1 | 737,1 | 631,1 |
| q (lps) | 1,07 | 1,07 | 1,07 | 1,07 |

k, a, fo- Parâmetros da equação de Kostiakov-Lewis; L- Comprimento do sulco; Zreq- Lâmina Requerida; t_L- Tempo de Avanço; T- Tempo de oportunidade; t_{ap}- Tempo de Aplicação e q- Vazão.

Continuação da Tabela 1

| DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS | ANÁLISE 73 | ANÁLISE 74 | ANÁLISE 75 | ANÁLISE 76 |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Tipo de solo | Franco-Arenoso | Franco-Arenoso | Franco-Arenoso | Franco-Arenoso |
| k (m ³ /min/m ²) | 0,00328 | 0,00328 | 0,00328 | 0,00328 |
| a | 0,584 | 0,584 | 0,584 | 0,584 |
| fo (m ³ /min/m) | 0,000193 | 0,000193 | 0,000193 | 0,000193 |
| L (m) | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Zreq (m ³ /m) | 0,21 | 0,18 | 0,15 | 0,12 |
| t _L (min) | 32,8 | 32,8 | 32,8 | 32,8 |
| T (min) | 470,0 | 384,0 | 301,0 | 222,0 |
| t _{ap} (min) | 502,8 | 416,8 | 333,8 | 254,8 |
| q (lps) | 1,48 | 1,48 | 1,48 | 1,48 |
| | ANÁLISE 77 | ANÁLISE 78 | ANÁLISE 79 | ANÁLISE 80 |
| Tipo de solo | Franco-Arenoso | Franco-Arenoso | Franco-Arenoso | Franco-Arenoso |
| k (m ³ /min/m ²) | 0,00328 | 0,00328 | 0,00328 | 0,00328 |
| a | 0,584 | 0,584 | 0,584 | 0,584 |
| fo (m ³ /min/m) | 0,000193 | 0,000193 | 0,000193 | 0,000193 |
| L (m) | 100 | 100 | 150 | 150 |
| Zreq (m ³ /m) | 0,09 | 0,06 | 0,21 | 0,18 |
| t _L (min) | 32,8 | 32,8 | 93,3 | 93,3 |
| T (min) | 150,0 | 84,0 | 470,0 | 384,0 |
| t _{ap} (min) | 182,8 | 116,8 | 563,3 | 477,3 |
| q (lps) | 1,48 | 1,48 | 1,48 | 1,48 |
| | ANÁLISE 81 | ANÁLISE 82 | ANÁLISE 83 | ANÁLISE 84 |
| Tipo de solo | Franco-Arenoso | Franco-Arenoso | Franco-Arenoso | Franco-Arenoso |
| k (m ³ /min/m ²) | 0,00328 | 0,00328 | 0,00328 | 0,00328 |
| a | 0,584 | 0,584 | 0,584 | 0,584 |
| fo (m ³ /min/m) | 0,000193 | 0,000193 | 0,000193 | 0,000193 |
| L (m) | 150 | 150 | 150 | 150 |
| Zreq (m ³ /m) | 0,15 | 0,12 | 0,09 | 0,06 |
| t _L (min) | 93,3 | 93,3 | 93,3 | 93,3 |
| T (min) | 301,0 | 222,0 | 150,0 | 84,0 |
| t _{ap} (min) | 394,3 | 315,3 | 243,3 | 177,3 |
| q (lps) | 1,48 | 1,48 | 1,48 | 1,48 |
| | ANÁLISE 85 | ANÁLISE 86 | ANÁLISE 87 | ANÁLISE 88 |
| Tipo de solo | Franco-Arenoso | Franco-Arenoso | Franco-Arenoso | Franco-Arenoso |
| k (m ³ /min/m ²) | 0,00328 | 0,00328 | 0,00328 | 0,00328 |
| a | 0,584 | 0,584 | 0,584 | 0,584 |
| fo (m ³ /min/m) | 0,000193 | 0,000193 | 0,000193 | 0,000193 |
| L (m) | 200 | 200 | 200 | 200 |
| Zreq (m ³ /m) | 0,21 | 0,18 | 0,15 | 0,12 |
| t _L (min) | 242,7 | 242,7 | 242,7 | 242,7 |
| T (min) | 470,0 | 384,0 | 301,0 | 222,0 |
| t _{ap} (min) | 712,7 | 626,7 | 543,7 | 464,7 |
| q (lps) | 1,48 | 1,48 | 1,48 | 1,48 |
| | ANÁLISE 89 | ANÁLISE 90 | ANÁLISE 91 | ANÁLISE 92 |
| Tipo de solo | Franco-Arenoso | Franco-Arenoso | Franco-Arenoso | Franco-Arenoso |
| k (m ³ /min/m ²) | 0,00328 | 0,00328 | 0,00328 | 0,00328 |
| a | 0,584 | 0,584 | 0,584 | 0,584 |
| fo (m ³ /min/m) | 0,000193 | 0,000193 | 0,000193 | 0,000193 |
| L (m) | 200 | 200 | 250 | 250 |
| Zreq (m ³ /m) | 0,09 | 0,06 | 0,21 | 0,18 |
| t _L (min) | 242,7 | 242,7 | 625,4 | 625,4 |
| T (min) | 150,0 | 84,0 | 470,0 | 384,0 |
| t _{ap} (min) | 392,7 | 326,7 | 1095,4 | 1009,4 |
| q (lps) | 1,48 | 1,48 | 1,48 | 1,48 |
| | ANÁLISE 93 | ANÁLISE 94 | ANÁLISE 95 | ANÁLISE 96 |
| Tipo de solo | Franco-Arenoso | Franco-Arenoso | Franco-Arenoso | Franco-Arenoso |
| k (m ³ /min/m ²) | 0,00328 | 0,00328 | 0,00328 | 0,00328 |
| a | 0,584 | 0,584 | 0,584 | 0,584 |
| fo (m ³ /min/m) | 0,000193 | 0,000193 | 0,000193 | 0,000193 |
| L (m) | 250 | 250 | 250 | 250 |
| Zreq (m ³ /m) | 0,15 | 0,12 | 0,09 | 0,06 |
| t _L (min) | 625,4 | 625,4 | 625,4 | 625,4 |
| T (min) | 301,0 | 222,0 | 150,0 | 84,0 |
| t _{ap} (min) | 926,4 | 847,4 | 775,4 | 709,4 |
| q (lps) | 1,48 | 1,48 | 1,48 | 1,48 |

k, a, fo- Parâmetros da equação de Kostiakov-Lewis; L- Comprimento do sulco; Zreq- Lâmina Requerida; t_L- Tempo de Avanço; T- Tempo de oportunidade; t_{ap}- Tempo de Aplicação e q- Vazão.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 1, 2 e 3 apresentam os efeitos da lâmina requerida na eficiência de aplicação, no escoamento e na percolação para diferentes comprimentos. Observa-se que, para os diferentes tipos de solo, a eficiência de aplicação decresce com o aumento da lâmina requerida, para os sulcos com comprimentos de 100 e 150 m, devido à predominância das perdas por escoamento nesses comprimentos, sobre as perdas por percolação. Para os sulcos

com comprimento de 200 e 250 m, a eficiência de aplicação cresce sempre que se aumenta a lâmina requerida, devido à predominância das perdas por percolação sobre as perdas por escoamento, nesses comprimentos. No entanto, observa-se que as perdas por escoamento aumentam com o crescimento da lâmina requerida, independente do comprimento do sulco; já as perdas por percolação apresentam comportamento oposto às perdas por escoamento, ou seja, tendem a decrescer com o aumento da lâmina requerida, independente do comprimento do sulco.

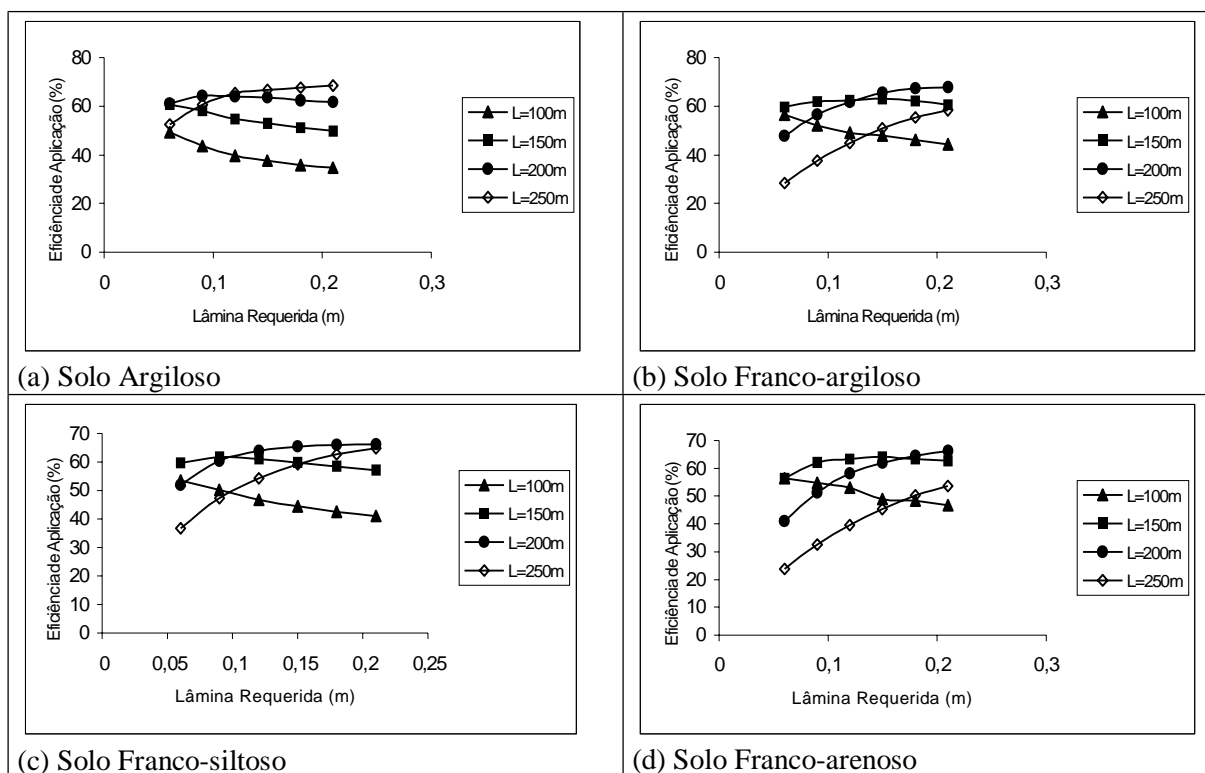


Figura 1. Efeitos da lâmina requerida na eficiência de aplicação d`água para diferentes tipos de solo e comprimentos dos sulcos

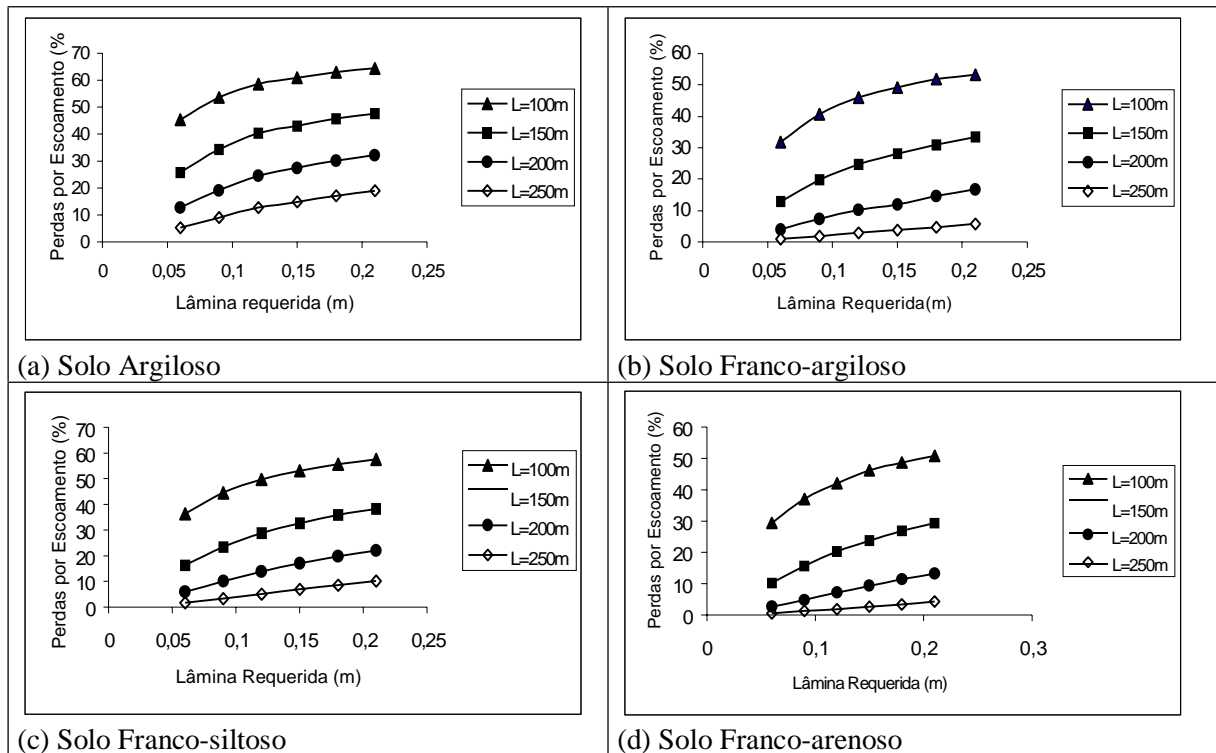


Figura 2. Efeitos da lâmina requerida na taxa de escoamento superficial para diferentes comprimentos de sulcos

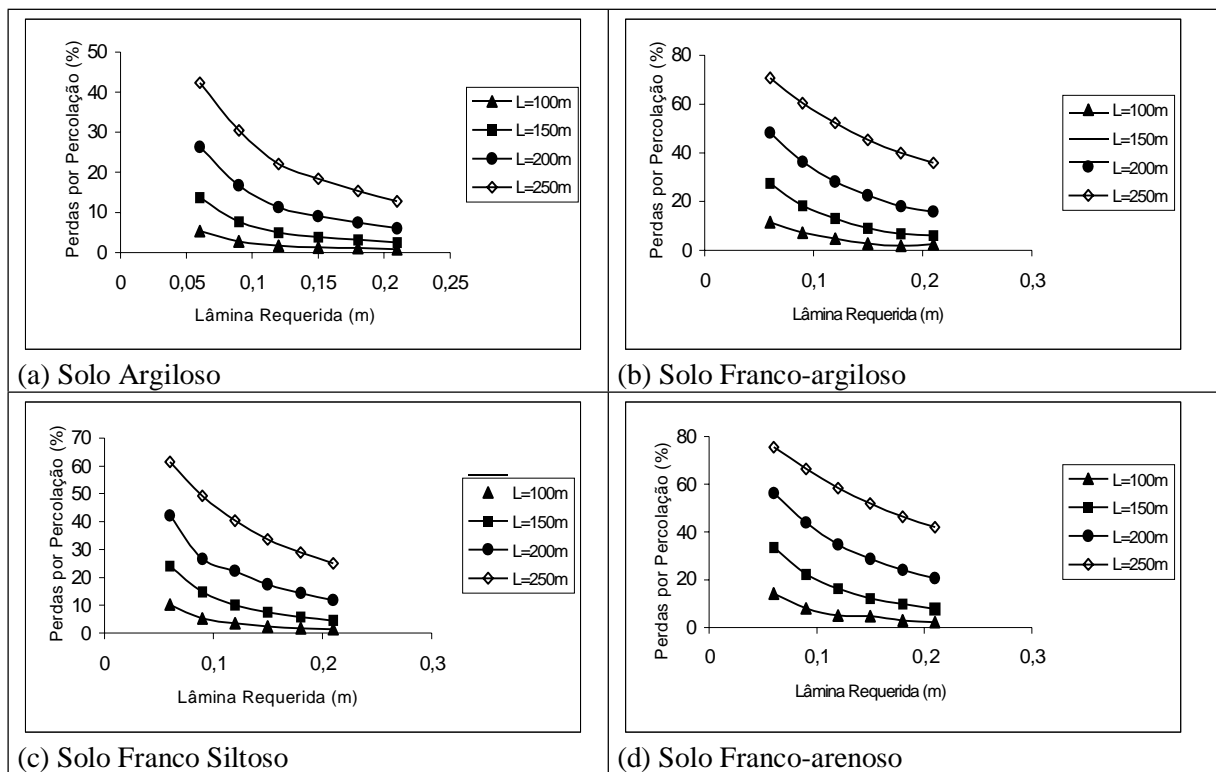


Figura 3. Efeitos da lâmina requerida na taxa de percolação profunda para diferentes comprimentos de sulco

A Figura 4 relaciona lâmina requerida e comprimento de sulco com eficiência de aplicação, percolação e escoamento para solos de textura argilosa e franco-arenosa. Verifica-se que, com o decréscimo do comprimento do sulco, as perdas por escoamento são inversamente proporcionais e apresentam pequena variação com o crescimento da lâmina requerida, enquanto com o acréscimo do comprimento do sulco predominam as perdas por percolação, tendo seus valores variações moderadas com o aumento das lâminas. Com isso, para solo de textura argilosa e comprimentos menores, com as lâminas

menores levam as melhores eficiências, porque a perda por escoamento tem uma presença dominante diante das perdas por percolação; já nos comprimentos maiores, as lâminas maiores requeridas têm as melhores eficiências de aplicação, devido as perdas por escoamento sobrepujarem as perdas por percolação. Entretanto, para solo com textura arenosa, para comprimentos menores a eficiência de aplicação é melhor nas lâminas menores requeridas e, para comprimentos maiores, a eficiência de aplicação é melhor nas lâminas maiores requeridas.

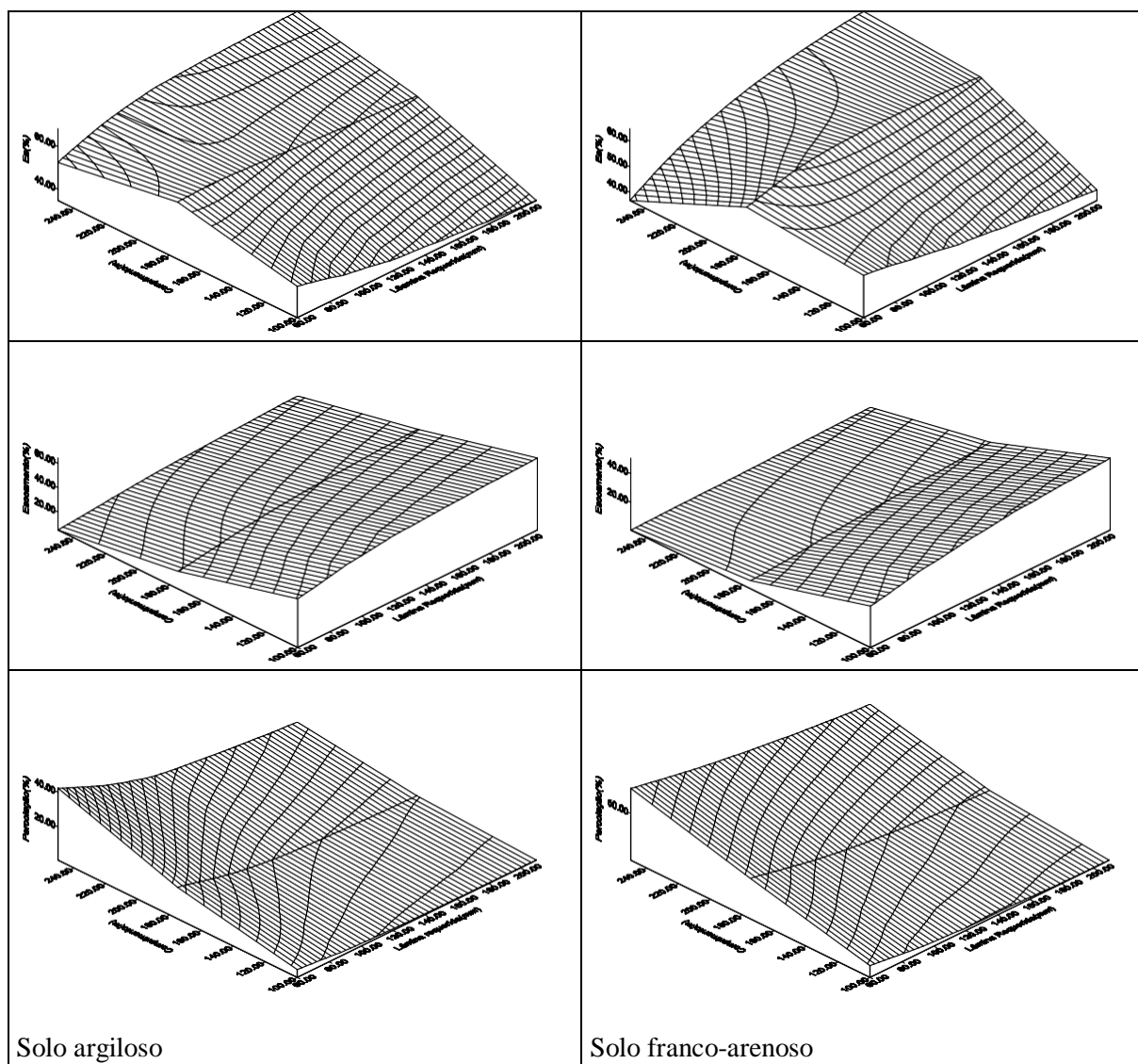


Figura 4. Efeito conjugado da lâmina requerida e do comprimento do sulco na eficiência de aplicação d'água e nas perdas por escoamento superficial e por percolação profunda.

Para um solo argiloso, quando a lâmina requerida aumenta de 0,06 para 0,21 m, no comprimento de 100 m, a eficiência de aplicação diminui de 49,4 para 34,7%, as perdas por escoamento aumentam de 45,3 para 64,4% e as perdas por percolação diminuem de 5,3 para 0,8%, porém, para o comprimento de 250 m a eficiência de aplicação aumentou de 52,6 para 68,4%, as perdas por escoamento passaram de 5,1 para 18,8% e as perdas por percolação diminuíram significativamente de 42,3 para 12,8%. No solo franco-arenoso, no comprimento de 100 m a eficiência de aplicação diminuiu para as mesmas lâminas, de 56,3 para 46,8%, as perdas por escoamento aumentaram de 29,4 para 50,8% e as perdas por percolação diminuíram de 14,3 para 2,4%. No comprimento de 250 m a eficiência de aplicação aumentou consideravelmente de 23,8 para 53,7%, as perdas por escoamento aumentaram de 0,5 para 4,3 % e a percolação diminuiu de 75,7 para 42,0%. Verifica-se que, no solo argiloso a eficiência de aplicação apresentou uma variação de 49,3% e de 92,1% e 98,1% para as perdas por escoamento e por percolação, respectivamente, enquanto no solo franco-arenoso esta variação foi de 57,7% para eficiência de aplicação e, para as perdas por escoamento e percolação, foi de 99,0% e 96,8%, respectivamente. Assim, os solos de textura arenosa são mais afetados com a mudança do comprimento do sulco e da lâmina requerida. Nos sulcos menores as perdas por escoamento comprometem mais o desempenho do sistema de irrigação por sulco que as perdas por percolação, principalmente nos solos de textura argilosa, enquanto nos sulcos maiores ocorre o contrário, sendo mais afetado nos solos de textura arenosa. Observa-se também que nos sulcos maiores se obtém os melhores resultados nos solos de textura argilosa, sobretudo para lâminas maiores, enquanto nos sulcos de comprimentos menores, apresentam melhores resultados para lâminas pequenas, em especial nos solos de textura arenosa. Desta forma, pode-se idealizar um manejo adequado para irrigação por sulco, ou seja, não aplicar grandes vazões em sulcos pequenos, e pequenas vazões em sulcos de maiores comprimentos, considerando-se que a vazão utilizada é contínua. O ideal para ambos os casos, tanto

para sulcos de menores comprimentos como para os de maiores comprimentos, seria a utilização de vazão reduzida. Neste caso, o desempenho do sistema de irrigação por sulco deveria apresentar um resultado bem mais satisfatório. Para ambos os casos de vazão utilizada, um bom desempenho do sistema de irrigação por sulco dependerá da determinação correta do tempo de aplicação da água, que corresponde ao tempo total de avanço e de oportunidade de infiltração da água no final do sulco.

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados, conclui-se que:

1. A lâmina requerida exerce efeito significativo no desempenho dos sistemas de irrigação por sulcos.
2. Nos sulcos com menores comprimentos, maiores lâminas tendem a comprometer o desempenho do sistema, devido a um potencial maior de perdas por escoamento nesses sulcos, principalmente em solos de textura mais argilosa.
3. Em sulcos maiores ocorre o inverso com relação ao efeito da lâmina no desempenho do sistema, principalmente em solos de textura mais arenosa.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO, C.A.V.; WALKER, W.R.; MERKLEY, G.P. Modelo de ondas cinemáticas na solução do problema inverso da irrigação por sulco em tempo real. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 1, n. 1, p. 35-41, 1997.
- BURT et al. Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 123, n. 6, p. 423-442, 1997.

DAKER, A. **Irrigação e drenagem**. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1988. v. 3, 543 p.

GONÇALVES, A.C.A. **Variabilidade espacial de propriedade física do solo para fins de irrigação**. 1997. 118 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

HENRIQUE, J. **Influência dos parâmetros de campo no desempenho dos sistemas de irrigação por sulcos**. 1996. 66 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem).

Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1996.

LEVIEN, S.L.A. **Modelo completo de balance de volumen para riego por sulcos**. 1998. 168 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrônômica) - Universidade de Córdoba, Córdoba, 1998.

WALKER, W.R.; SKOGERBOE, G.V. **The theory and practice of surface irrigation engineering**. Ney Jersey: Prentice-Hall, 1987. 386 p.