

MIGUEL ANGEL TOLEDO GARRIDO

INFLUÊNCIA DO REGIME DE FLUXO SOBRE INFILTRAÇÃO E AVANÇO DE ÁGUA EM SULCOS DE IRRIGAÇÃO.

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura de Lavras, como parte das Exigências para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola.

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS
LAVRAS . MINAS GERAIS

1992

Boa ref

MIGUEL ANGEL TOLEDO GARRIDO

INFLUÊNCIA DO REGIME DE FLUXO SOBRE INFILTRAÇÃO E AVANÇO DE ÁGUA EM SULCOS DE IRRIGAÇÃO.

*form 2 Mx
+
631.7
TOG
inf*

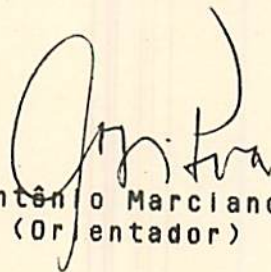
Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura de Lavras, como parte das Exigências para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola.

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS
LAVRAS - MINAS GERAIS

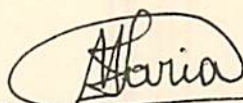
1992

INFLUÊNCIA DO REGIME DE FLUXO SOBRE INFILTRAÇÃO E AVANÇO
DE ÁGUA EM SULCOS DE IRRIGAÇÃO.

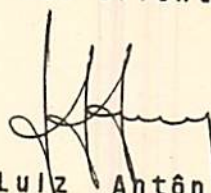
APROVADA :



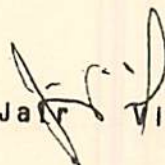
Prof. Antônio Marclano da Silva
(Orientador)



Prof. Manoel Alves de Faria
(Co-orientador)



Prof. Luiz Antônio Lima
(Co-orientador)



Prof. Jair Vieira

À minha esposa, Adriana,
Aos meus filhos e filhas,
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

À minha esposa, Adriana, pelo estímulo, companheirismo, compreensão e pelo amor de todos os dias.

Ao meu filho Johanes e minhas filhas Mabel e Rafaela, pelo amor e compreensão.

À Escola Superior de Agricultura de Lavras, ESAL, por intermédio do Departamento de Engenharia, pelos ensinamentos e pela oportunidade de realização deste Curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

À Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, FAEPE, pelas condições concedidas para a realização deste trabalho.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, EPAMIG, pelas facilidades concedidas para realização deste trabalho.

Ao professor Antônio Marclano da Silva, pelos ensinamentos, pelo incentivo, pela amizade e pela valiosa orientação.

Ao co-orientador professor Manoel Alves de Faria, pela colaboração, pela amizade e pelas oportunas sugestões.

Ao co-orientador professor Luiz Antônio Lima pelas críticas e pelas sugestões que aperfeiçoaram este trabalho.

Ao professor Prabir K. Chandra, pela revisão do Summary.

Aos funcionários do Setor de Hidráulica do Departamento de Engenharia.

Ao Departamento de Solos, pelas análises realizadas.

Aos diversos setores da ESAL pelas facilidades concedidas no decorrer do presente trabalho.

Aos colegas de curso, pela amizade e pelo agradável convívio.

Ao meu filho, Miguel Angel Toledo, estudante de Engenharia Agrícola, pela colaboração na obtenção de dados no campo e na preparação dos originais da dissertação.

As demais pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

MIGUEL ANGEL TOLEDO GARRIDO, filho de Miguel Angel Toledo Jofré e Maria Yolanda Garrido Orellana, nasceu em Temuco, Chile, em 18 de maio de 1945.

Em 1962 conclui o segundo grau no Liceo Enrique Molina Garmendia, em Concepción, Chile.

Em 1963 iniciou o curso superior na Universidade de Concepción, Chile, diplomando-se em 1969 como Engenheiro Agrônomo.

Em 1969 foi contratado pelo Servicio Agrícola y Ganadero, SAG, Chile, para trabalhar nas províncias de Linares e Cauquenes.

Em 1974 foi contratado pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, EPAMIG, para trabalhar como pesquisador, tendo trabalhado no setor de irrigação.

Em 1980 foi contratado pela Companhia Agrícola do Estado de Goiás, CAESGO, como agrônomo tendo trabalhado nas áreas de irrigação, drenagem e mecanização.

Em março de 1990 iniciou o mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração irrigação e drenagem na Escola Superior de Agricultura de Lavras, ESAL.

S U M A R I O

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1. O método de irrigação por sulcos	5
2.2. Infiltração da água no solo	6
2.3. Avanço da água nos sulcos	9
2.4. Modelo do Balanço Volumétrico	10
2.5. Eficiência de irrigação em sulcos	17
2.6. Fluxo intermitente	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1. Caracterização da área experimental	25
3.2. Caracterização físico-hídrica e química do solo	26
3.3. Delineamento experimental e tratamentos	26
3.4. Parâmetros avaliados nos testes	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1. Características físico-hídricas do solo	32
4.2. Resultado de avanço da água no sulco para primeira irrigação	37
4.3. Resultados de infiltração para primeira irrigação ..	37

4.4. Resultados de avanço da água no sulco para três irrigações	44
4.5. Resultados de infiltração para três irrigações	44
4.6. Resultados para todas as irrigações	47
4.6.1. Tempo de avanço	47
4.6.2. Volume de água aplicada	49
4.6.3. Tempo de irrigação	52
4.6.4. Perfil de distribuição da lâmina infiltrada .	56
4.7. Parâmetros de desempenho	63
4.7.1. Eficiência de aplicação (E_a), perdas por percolação (P_p), perdas por escoamento superficial (P_e)	63
4.7.2. Eficiência de aplicação (E_a), eficiência de armazenamento (E_s) e uniformidade de distribuição (U_d)	67
5. CONCLUSÕES	68
6. RESUMO	70
7. SUMMARY	72
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
APÊNDICES	80
Apêndice A	81
Apêndice B	81
Apêndice C	82

Apêndice D	87
Apêndice E	88

LISTA DE QUADROS

QUADROS		PÁGINA
1	Custos anuais de irrigação, para varios sistemas de aplicação de água (US\$1,00/acre, juros de 9% a.a.).	3
2	Resultados da Análise Granulométrica do Perfil de Podzólico Vermelho Escuro Eutrófico. Lavras - 1992 .	33
3	Densidade Global e Densidade de Partículas do Perfil	33
4	Porcentagens de Agregados Retidos nas Diversas Peneiras na Análise de Estabilidade de Agregados em Água	35
5	Volume Total de Poros-(VTP), Macro e Microporosidade	35
6	Tempos Necessários para Completar Fase de Avanço (min) em Três Irrigações Consecutivas, nos Escoamentos Contínuo, Contínuo com Redução de Vazão Inicial e Intermitente	48
7	Volume de Água (Litros) Necessários para Conclusão de Fase de Avanço em Três Irrigações Consecutivas para as Vazões de 0,6, 0,8 e 1,0 l/s em Condições de Escoamento Contínuo, Contínuo com Redução de Vazão Inicial e Escoamento Intermitente	50
8	Tempo de Irrigação (min) para o Escoamento Contínuo e Contínuo com Redução de Vazão Inicial e Número de Pulsos para o Escoamento Intermitente	51
9	Eficiência de Aplicação - Ea (%), Perdas por Percolação - Pp (%) e Perdas por Escoamento Superficial - Pe (%) para Vazões de 0,6, 0,8 e 1,0 l/s em Condições dos Escoamento Contínuo, Contínuo com Redução de Vazão Inicial e Intermitente, em Três Irrigações Consecutivas	64

10	Eficiência de Aplicação - E_a (%), Eficiência de Armazenamento - E_s (%) e Uniformidade de Distribuição - U_d (%) para as Vazões de 0,60, 0,80 e 1,0 l/s em Condições de Escoamento Contínuo, Contínuo com Redução de Vazão Inicial e Intermitente para Três Irrigações Consecutivas	66
1A	Teores de Umidade (% base peso) para Potenciais Matriciais de 2 a 1500 KPa e para as camadas de 0 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm	81
1B	Características Químicas do Solo, para Três Camadas	81
1C	Parâmetros das Equações de Infiltração e Avanço, para Três Irrigações Consecutivas, no Escoamento Contínuo para as Vazões de 0,6, 0,8 e 1,0 l/s	82
2C	Parâmetros das Equações de Infiltração e Avanço, para Três Irrigações Consecutivas, no Escoamento Contínuo com Redução de Vazão Inicial, para as Vazões de 0,8 e 1,0 l/s	83
3C	Parâmetros das Equações de Infiltração e Avanço, para Duas Irrigações Consecutivas, no Escoamento Intermitente, para a Vazão de 0,6 l/s	84
4C	Parâmetros das Equações de Infiltração e Avanço, para Três Irrigações Consecutivas, no Escoamento Intermitente, para a Vazão de 0,8 l/s	85
5C	Parâmetros das Equações de Infiltração e Avanço, para Três Irrigações Consecutivas, no Escoamento Intermitente, para a Vazão de 1,0 l/s	86
10	Parâmetros das Equações de Distribuição de Lâminas Infiltradas Ajustadas pelo Modelo Potencial, para Três Irrigações Consecutivas, no Escoamento Contínuo, Contínuo com Redução da Vazão Inicial e Intermitente, para as vazões de 0,6, 0,8 e 1,0 l/s .	87

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS		PÁGINA
1	Curva de Retenção de Umidade do Solo para as Camadas de 0 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm	36
2	Curvas de Avanço (Observadas), para os Escoamentos Contínuo e Intermitente Obtidos Durante a Primeira Irrigação para a Vazão de 0,6 l/s ...	38
3	Curvas de Avanço (Observadas), para os Escoamentos Contínuo e Intermitente Obtidos Durante a Primeira Irrigação para a Vazão de 0,8 l/s ...	39
4	Curvas de Avanço (Observadas), para os Escoamentos Contínuo e Intermitente Obtidos Durante a Primeira Irrigação para a Vazão de 1,0 l/s ...	40
5	Curvas de Infiltração Acumulada para os Escoamentos Contínuo e Intermitente Obtidos para a Vazão de 0,6 l/s Durante a Primeira Irrigação, e para Espaçamento de 1 m	41
6	Curvas de Infiltração Acumulada para os Escoamentos Contínuo e Intermitente Obtidos para a Vazão de 0,8 l/s Durante a Primeira Irrigação, e para Espaçamento de 1 m	42
7	Curvas de Infiltração Acumulada para os Escoamentos Contínuo e Intermitente Obtidos para a Vazão de 1,0 l/s Durante a Primeira Irrigação, e para Espaçamento de 1 m	43
8	Curvas de Avanço (Observadas), Obtidas para Escoamento Contínuo Durante Três Irrigações Consecutivas, para a Vazão de 0,8 l/s	45
9	Curvas de Infiltração Acumulada Obtidas para Escoamento Contínuo Durante Três Irrigações Consecutivas, para a Vazão de 0,8 l/s e para Espaçamento de 1 m	46

10	Perfis de Distribuição da Lâmina Infiltrada , Ajustadas pelo Modelo Potencial, para os Escoamentos Contínuo e Intermitente para a Primeira Irrigação e Vazão de 0,6 l/s	53
11	Perfis de Distribuição de Lâmina Infiltrada , Ajustadas pelo Modelo Potencial, para os Escoamentos Contínuo, Contínuo com Redução de Vazão Inicial e Intermitente, para a Primeira Irrigação e Vazão de 0,8 l/s	54
12	Perfis de Distribuição de Lâmina Infiltrada , Ajustadas pelo Modelo Potencial, para os Escoamentos Contínuo, Contínuo com Redução de Vazão Inicial e Intermitente, para a Primeira Irrigação e Vazão de 1,0 l/s	55
13	Perfis de Distribuição de Lâmina Infiltrada , Ajustadas pelo Modelo Potencial, para os Escoamentos Contínuo e Intermitente para a Segunda Irrigação e Vazão de 0,6 l/s	57
14	Perfis de Distribuição de Lâmina Infiltrada , Ajustadas pelo Modelo Potencial, para os Escoamentos Contínuo, Contínuo com Redução de Vazão Inicial e Intermitente, para a Segunda Irrigação e Vazão de 0,8 l/s	58
15	Perfis de Distribuição de Lâmina Infiltrada , Ajustadas pelo Modelo Potencial, para os Escoamentos Contínuo, Contínuo com Redução de Vazão Inicial e Intermitente, para a Segunda Irrigação e Vazão de 1,0 l/s	59
16	Perfis de Distribuição de Lâmina Infiltrada , Ajustadas pelo Modelo Potencial, para os Escoamentos Contínuo, Contínuo com Redução de Vazão Inicial e Intermitente, para a Terceira Irrigação e Vazão de 0,8 l/s	60
17	Perfis de Distribuição de Lâmina Infiltrada , Ajustadas pelo Modelo Potencial, para os Escoamentos Contínuo, Contínuo com Redução de Vazão Inicial e Intermitente, para a Terceira Irrigação e Vazão de 1,0 l/s	61

LISTA DE SIMBOLOS

- Ao Área molhada na entrada do sulco (dm^2).
- Ay Área molhada da seção transversal de escoamento na distância s (dm^2).
- Az Área infiltrada (dm^2).
- B Largura do espelho d'água no sulco (cm).
- C Parâmetro da equação de geometria do sulco.
- C Parâmetro da equação de regressão do volume infiltrado versus tempo.
- Ea Eficiência de aplicação (%).
- Es Eficiência de armazenamento (%).
- K Parâmetro da equação de infiltração acumulada.
- Pe Perdas por escoamento superficial (%).
- Pp Perdas por percolação (%).
- T Tempo de oportunidade (min).
- TC Tempo cíclico correspondente a soma dos tempos, aplicando e não aplicando água.
- Ud Uniformidade de distribuição (%).
- Vr Volume necessário para repôr umidade na zona de raízes, adimensional.
- Vs Volume armazenado na zona de raízes, adimensional.
- Vt Volume total aplicado, adimensional.

- V_y Volume d'água armazenado sobre a superfície do sulco (dm^3).
 V_z Volume de água infiltrada no sulco (dm^3).
 a Parâmetro da equação de infiltração.
 f Parâmetro da equação de avanço.
 h Parâmetro da equação de avanço.
 m Parâmetro da equação de geometria do sulco.
 r_y Fator de forma superficial, adimensional.
 r_z Fator de forma sub-superficial, adimensional.
 s Distância sobre a qual ocorreu o avanço.
 t Tempo (min).
 t_s Tempo para a água alcançar a distância s (min).
 w Perímetro molhado médio (cm).
 w_0 Perímetro molhado no início do sulco (cm).
 y Profundidade hidráulica de fluxo no sulco (cm).
 y_0 Profundidade de fluxo no início do sulco (cm).
 y_s Profundidade de fluxo na distância s (cm).
 x Distância total de avanço (m).
 z Lâmina infiltrada acumulada (dm).
 α Variável auxiliar.
 β Expoente empírico da equação que define perfil longitudinal do fluxo no sulco, adimensional.
 Γ Função Gama.

1. INTRODUÇÃO

A irrigação por superfície constitui a modalidade mais utilizada no mundo e no Brasil (CARVALHO, 1984 VIEIRA, 1983).

Dados publicados indicam que havia no Brasil até 1990 dois milhões novecentos sessenta e seis mil hectares irrigados sendo que 5 % destes eram irrigados por sulcos, com área média por produtor de 3,2 hectares e 67 % destes eram irrigados por inundação, com área média por produtor de 13,9 hectares (MANUAL, 1991).

A maior concentração de área irrigada do país está no sul e sudeste, com mais de 65 % do total. Todavia, a região centro oeste, com 11 milhões de hectares irrigáveis, é a que apresenta maior potencial para expansão da irrigação. Foi esta região que apresentou maior crescimento da área irrigada no período 1985-90 tendo evoluído de 110 mil hectares em 1985 para mais de 319 mil hectares em 1990 (MANUAL, 1991).

Os solos de cerrado, ao lado das várzeas, representam uma grande opção para desenvolvimento da irrigação. Eles ocupam 75 %

da extensão territorial de MS, 50 % da extensão territorial de MT e mais de 90 % da extensão territorial de GO, na região centro oeste (MANUAL, 1991).

As necessidades alimentares da população brasileira na virada do século deverão ser satisfeitas pelo aumento da produtividade, sinônimo de irrigação, visto que a área cultivada no país cresce a ritmo mais lento que o necessário (MANUAL, 1991).

As diversas modalidades de irrigação por superfície: sulcos, faixas, tabuleiros, bacias, etc. apresentam, ao contrario da irrigação por aspersão ou localizada, a característica básica de realizar a condução da água através da própria superfície do terreno.

Em geral, a irrigação por superfície conduz a valores de eficiência de aplicação menores que a irrigação por aspersão ou gotejamento. Todavia, quando bem dimensionada e bem manejada, pode permitir valores elevados de eficiência de aplicação que reduzem a diferença existente quando comparada com outros métodos de irrigação (GRASSI, 1988).

Entre os fatores que contribuem para a baixa eficiência de aplicação no método de irrigação por sulcos destacam-se a diferença em tempo de oportunidade para infiltração ao longo do sulco, inerente ao próprio método de irrigação; a variabilidade espacial e temporal da infiltração; e o manejo inadequado da

água de irrigação.

Em relação ao manejo da água, as perdas por percolação profunda e por escoamento superficial são de grande importância na irrigação por sulcos sendo necessário seu estudo para quantificação e controle.

O manejo da irrigação por superfície torna-se mais crítico em solos de textura média ou então bastante estruturados como os solos de cerrado que, no processo de expansão da fronteira agrícola com uso da irrigação, destacam-se com importante participação. Nestes solos, a irrigação por superfície, em particular o método de irrigação por sulcos, pode ser potencialmente interessante considerando-se o seu baixo custo observado (Quadro 01) .

QUADRO 01. Custos anuais de irrigação, para varios sistemas de aplicação de água (US\$1,00/acre, Juros de 9 % a.a.)

Sistema	Altura manométrica (mca)	
	6	45
Superfície		
- tubo janelado	82	143
- canal aplicação	50	102
Pivô Central	114	157
Gotejamento	157	196

Fonte : STRINGHAM (1988) .

O manejo tradicional da irrigação por sulcos se

caracteriza pelo uso de uma vazão constante durante todo o processo de aplicação de água. Uma alternativa para reduzir as perdas por escoamento superficial consiste na aplicação de vazão próxima da máxima não erosiva nos sulcos durante a fase de avanço e logo depois, reduzir a vazão.

O surgimento da irrigação intermitente como técnica inovadora na irrigação por superfície, particularmente na irrigação por sulcos, aparece com grande potencialidade como forma de melhoria da eficiência de aplicação. Este fato, aliado à necessidade de quantificar melhor a influência desta técnica na eficiência de irrigação e nas características de avanço e de infiltração em sulcos levaram a propôr este estudo que tem como objetivos:

Estudar comparativamente as características de avanço e de infiltração em sulcos em um solo de cerrado, de textura média/ argilosa, sob regime de fluxo contínuo, com e sem redução de vazão inicial, e sob condição de fluxo intermitente.

Avaliar as perdas por percolação profunda e por escoamento superficial e determinar as eficiências (de aplicação, de armazenamento e de distribuição) para as condições de escoamento contínuo, contínuo com redução de vazão inicial, e intermitente.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O método de irrigação por sulcos

É o método de irrigação que consiste em colocar a água em pequenos canais ou sulcos entre as fileiras de plantas, que a conduzem e distribuem pela área irrigada, permitindo a reposição da umidade necessária às plantas através dos processos de infiltração e redistribuição da água no solo (BERNARDO, 1989 OLITTA, 1977).

A vazão aplicada no sulco deve exceder a capacidade de infiltração do solo a ser irrigado de modo que o excedente superficial resultante, possa avançar e alcançar o final dos sulcos.

A estrutura da camada superficial é muito importante na irrigação por sulcos pois determina a velocidade de infiltração e influencia portanto no comprimento dos sulcos e no tempo de irrigação (BOOHER, 1974).

Solos com VIB muito alta exigem a construção de sulcos muito curtos que dificultam o manejo da irrigação a nível de

parcela , pois aumentam o custo da operação e reduzem a área útil devido ao excesso de canais e drenos. Além disso, sulcos pequenos podem promover maiores perdas por escoamento superficial no final do sulco.

Por outro lado, tempos de irrigação excessivamente longos, resultantes de baixa infiltração de água no solo são também indesejáveis pois podem produzir deficiência de oxigênio na zona de raízes, particularmente em solos mais argilosos (LOSADA, 1987).

2.2. Infiltração da água no solo

BOOHER (1974) afirma que a eficácia da irrigação por sulcos depende do movimento lateral da água a partir dos sulcos. Este movimento lateral é importante no umedecimento do solo, no movimento de sais solúveis, fertilizantes, e herbicidas.

Em solos mais arenosos ou que se comportam como tal, como alguns latossolos, o tempo de aplicação da água de irrigação deverá ser menor para reduzir a percolação profunda abaixo da zona radicular (OLITTA, 1977; REIGHARDT, 1985).

Segundo HILLEL (1970), infiltração é o termo aplicado ao processo pelo qual a água entra no solo, de cima para baixo, geralmente através de sua superfície. O autor salienta que existe diferença entre regime de infiltração, que depende da intensidade de suprimento da água e capacidade de infiltração

que é o fluxo máximo que o solo pode absorver quando a água é aplicada em abundância, sob pressão atmosférica. No caso de irrigação por sulcos, o solo absorverá água segundo sua capacidade máxima.

A infiltração depende do teor inicial de umidade do solo e de sua distribuição no perfil, da textura e da estrutura especialmente na região superficial, da uniformidade do perfil, da cobertura superficial, da condutividade hidráulica, e do tempo transcorrido desde o início do processo. Em geral a infiltração é alta no início e decresce gradualmente com o tempo, tendendo eventualmente a um regime assintótico estável, que corresponde à infiltração básica (FERNANDEZ et alii, 1971; HILLEL, 1970; PARR & BERTRAND, 1960).

HILLEL (1970) e PARR & BERTRAND (1960) analisaram a redução da capacidade de infiltração com o tempo e estabeleceram que ela ocorre pela redução do gradiente de potencial matricial, pela deterioração gradual da estrutura em solos com estrutura pouco estável que reduzem conseqüentemente a condutividade hidráulica do perfil, pelo intumescimento e pela compressão de ar remanescente que permanece aprisionado no solo.

DAVIS & FRY (1963) apontam que a velocidade com que a água penetra no solo a partir de um sulco de irrigação depende da compactação do solo nos lados e no fundo do sulco bem como do efeito da velocidade do fluxo sobre a superfície do solo, da influência de outros fatores tais como umidade inicial,

textura, etc. Portanto, medidas precisas de infiltração instantânea são difíceis. Sempre que possível, as avaliações devem ser feitas com água em movimento nos sulcos .

GRASSI (1988) salienta que , em igualdade de condições de solo e umidade inicial, a velocidade de infiltração nos sulcos é função da vazão de entrada no sulco, da declividade, da rugosidade e do espaçamento. Todos estes parâmetros, com exceção do espaçamento, afetam a seção de escoamento e portanto a velocidade de infiltração, que também depende do perímetro molhado do sulco.

Holmen et alii, citados por GRASSI (1988) encontraram que a velocidade de infiltração se duplicou em sulcos com declividade de 0,5 % quando a vazão aumentou de 22,7 l/ min para 53 l/ min.

Ames, citado por GRASSI (1988) observou uma redução substancial da capacidade de infiltração dos sulcos quando aumentava a declividade de 1 % para 10 %, para vazão constante, que se atribuiu a uma redução do perímetro molhado do sulco e a um aumento da erosão e subsequente depósito formando um selo superficial. Collins e Campbell, citados por GRASSI (1988), não encontraram efeito da declividade na infiltração para valores entre 0,5 % e 1,5 % .

GRASSI et alii (1965), em um trabalho que estudava o efeito da rugosidade da seção de escoamento do sulco sobre a infiltração, encontraram que a condição mais rugosa do sulco

provocou aumento da infiltração da água nos sulcos basicamente pelo aumento de seção.

Para dimensionamento da irrigação por superfície utilizam-se equações aproximadas, empíricas, obtidas para cada caso em particular, sendo a equação de Kostliakov a forma mais conhecida e utilizada (FERNANDEZ et alii, 1971; GRASSI, 1988).

2.3. Avanço da água nos sulcos

O avanço da frente de água sobre o terreno ao longo do sulco, permite o molhamento do solo de modo tal que um comprimento crescente fica coberto com água. O avanço e a recessão, que é o processo inverso ao avanço pois expressa a extensão crescente no sulco que fica sem água na superfície após terminar a aplicação desta, envolvem fluxo de água sobre o terreno e tem sido muito estudados. O intervalo entre as curvas de avanço e de recessão representa o tempo de contato ou tempo de oportunidade para a água infiltrar no solo. Com esse valor, e de posse da equação de infiltração, pode-se calcular a lâmina infiltrada (GRASSI, 1988).

Quando se aplica uma vazão num sulco, o avanço da frente de água será rápido na fase inicial. Depois de percorrida uma determinada distância, a velocidade de avanço diminui ou é anulada, tudo isto em função da vazão remanescente no sulco. Devido à velocidade de avanço ser função da vazão, para um conjunto de características edáficas e hidráulicas, obtém-se um

padrão de curvas de avanço da água em função apenas da vazão. Vários autores concordam que o avanço da frente de água é uma função potencial da variável tempo (BERNARDO, 1989; CRIDDLE et alii, 1956; DAVIS, 1961).

2.4. Modelo do Balanço Volumétrico

O processo de avanço da frente de água no sulco e sua relação com a infiltração pode ser analisado a partir da equação de balanço volumétrico (DAVIS, 1961; FOK & BISHOP, 1969; JAMES, 1988; REZENDE & SCALOPPI, 1985; SCALOPPI, 1983 ; WALKER & SKOGERBOE, 1987) .

O modelo do balanço volumétrico, descrito por SCALOPPI (1984), permite a determinação das equações de avanço e infiltração da água nos sulcos, partindo-se da equação da continuidade:

$$q \cdot t = V_y + V_z \quad \text{eq. 1}$$

Em que:

q = vazão de entrada nos sulcos, $\text{dm}^3/\text{min}.$;

t = tempo de aplicação da vazão, para atingir distância de avanço x , min;

V_y = Volume de água armazenada sobre a superfície do solo no tempo t , dm^3 ; e

V_z = Volume de água infiltrada no tempo t , dm^3 .

O volume de água armazenado sobre a superfície do solo em

até uma dada distância de avanço, x , é encontrado pela integração da área molhada pelo escoamento até a distância x de avanço:

$$V_y = \int_0^x A_y ds \quad \text{eq. 2}$$

onde:

A_y = área da seção transversal molhada pelo escoamento a qual é função da distância.

s = variável auxiliar para representar a distância de avanço a partir do início do sulco, dm.

O modelo do balanço volumétrico assume uma área média, A_y , constante, obtida da seguinte forma:

$$A_y = A_o \cdot r_y \quad \text{eq. 3}$$

em que:

A_o = área da seção molhada pelo escoamento, no início do sulco, dm^2 ;

r_y = fator de forma superficial, adimensional.

No caso de sulco, assume-se que a geometria dele é representada por uma equação de tipo potencial cuja expressão geral é a seguinte:

$$B = Cy^m \quad \text{eq. 4}$$

onde:

B = Largura do espelho d'água no sulco, cm;

y = Profundidade hidráulica do fluxo, cm;

C, m = Constantes.

Sendo B uma função de y , a área da seção transversal molhada pelo escoamento, Ay , em uma distância s desde o início do sulco será:

$$Ay = \int_0^y B \, dy \quad \text{eq. 5}$$

Substituindo B pela expressão dada na eq. (4) tem-se:

$$Ay = \int_0^y C y^m \, dy \quad \text{eq. 6}$$

$$Ay = \left(C / (m+1) \right) y^{m+1} \quad \text{eq. 7}$$

Objetivando calcular Vy (vide eq. 2), assume-se que a forma do perfil longitudinal do escoamento da água em relação ao fundo do sulco, está descrita por uma função potencial que tem a expressão:

$$y_s = y_0 \left(1 - s/x \right)^\beta \quad \text{eq. 8}$$

onde:

y_s = profundidade do fluxo a uma distância s da frente de avanço da água.

y_0 = profundidade do fluxo no início do sulco, assumida como uniforme.

s = distância de avanço considerada.

x = distância total de avanço.

β = expoente empírico.

Substituindo A_y e y pelas suas expressões dadas pelas equações (7) e (8), obtem-se a expressão seguinte:

$$V_y = A_0 \cdot x / [\beta (m + 1) + 1] \quad \text{eq. 9}$$

$$V_y = A_0 \cdot x \cdot r_y \quad \text{eq. 10}$$

onde:

A_0 = área da seção molhada pelo escoamento no início do sulco, dm^2 .

β = coeficiente empírico adimensional no caso de sulcos, assume o valor de 0,25 (SCALOPPI, 1984).

$$r_y = 1 / [\beta (m + 1) + 1]$$

O volume de água infiltrada no sulco durante a irrigação é obtido integrando-se a equação:

$$V_z = \int_0^x A_z ds \quad \text{eq. 11}$$

sendo:

A_z = área infiltrada.

No caso de irrigação por sulcos, se reconhece que a infiltração é uma função do perímetro molhado, que está afetado

pela profundidade do fluxo. Assim, a área infiltrada se considera como sendo equivalente ao perímetro molhado médio vezes a lâmina infiltrada:

$$Az = w \cdot z \quad \text{eq. 12}$$

w = perímetro molhado médio.

z = profundidade ou lâmina infiltrada acumulada.

A lâmina infiltrada é obtida pela expressão de Kostliakov, de amplo uso no mundo inteiro:

$$z = K \cdot T^a \quad \text{eq. 13}$$

Sendo:

T = tempo de oportunidade.

K, a = constantes empíricas.

O tempo de oportunidade T é dado pela expressão :

$$T = t - \frac{t}{s} \quad \text{eq. 14}$$

sendo:

t = tempo total

t_s = tempo de avanço para atingir distância s.

Dados experimentais indicam que o avanço da água em sulcos pode ser expresso por uma equação da forma seguinte:

$$s = f \cdot t^{\frac{h}{s}} \quad \text{eq. 15}$$

onde:

$f, h =$ constantes empíricas.

Diferenciando a equação (15) com respeito a t_s obtem-se:

$$\frac{ds}{dt_s} = h f t_s^{h-1} \quad \text{eq. 16}$$

Substituindo equação (13) e (14) na equação (11) resulta a expressão:

$$V_z = wK \int_0^X (t - t_s)^a ds \quad \text{eq. 17}$$

Multiplicando equação (17) por (dts / dts) e substituindo eq. (16) na equação resultante obtem-se:

$$V_z = w K f h \int_0^t t_s^{h-1} (t - t_s)^a dts \quad \text{eq. 18}$$

Multiplicando equação (18) por $(t/t_s)^{a+h-1}$ e fazendo $\alpha = t_s/t$ resulta:

$$V_z = w K t^a f t^h \int_0^1 \alpha^{h-1} (1-\alpha)^a d\alpha \quad \text{eq. 19}$$

A integral na equação (19) é identificada como sendo a Função Beta que pode ser resolvida em termos da Função Gama. Assim, a expressão para o volume de água subsuperficial assume a

forma geral:

$$V_z = w K t^a f t^h \frac{\Gamma(h+1) \Gamma(a+1)}{(h+a) \Gamma(h+a)} \quad \text{eq. 20}$$

O termo da direita é reconhecido como sendo um fator da forma sub-superficial, r_z , para faixas. Para sulcos, o fator de forma sub-superficial pode ser obtido multiplicando-se a equação (20) por (w_0/w) , sendo w_0 , o perímetro molhado no início do sulco. A expressão resultante é:

$$V_z = w_0 K t^a f t^h \frac{w}{w_0} \frac{\Gamma(h+1) \Gamma(a+1)}{(h+a) \Gamma(h+a)} \quad \text{eq. 21}$$

Nesta última expressão o fator de forma subsuperficial está dado pela expressão:

$$r_z = \frac{w}{w_0} \frac{\Gamma(h+1) \Gamma(a+1)}{(h+a) \Gamma(h+a)}$$

A forma final da expressão para V_z é:

$$V_z(t) = r_z w_0 K f t^{a+h} = C t^{a+h} \quad \text{eq. 22}$$

Para valores conhecidos de V_z versus t , obtidos pela expressão do balanço volumétrico dado pela equação (1), é possível obter os valores de "C" e "(a+h)" da equação (22). Sendo h conhecido pela função de avanço obtida, por regressão, é possível obter os valores das constantes "K" e "a" da equação de infiltração.

2.5. Eficiência da irrigação por sulcos

Do total de água entregue a uma parcela, somente uma parte dela cumpre sua finalidade que é prover água necessária ao desenvolvimento das culturas. Na irrigação por sulcos, pela própria característica do método onde o solo é o meio condutor da água, existem pelo menos duas formas importantes de perdas de água: perdas por percolação, maior no início do sulco porque neste local há mais tempo de oportunidade para a água infiltrar, e perdas por escoamento superficial que ocorrem no final do sulco (BERNARDO, 1989; GRASSI, 1988).

Segundo CARVALLO & SOARES (1988), para se aplicar uma lâmina de irrigação adequada é necessário que a água fique em contato com o solo durante um certo período de tempo. Como a lâmina deve ser aplicada também no final do sulco, o manejo da água pode ser difícil e pouco eficiente pois o tempo de avanço da água ao longo do sulco pode promover perdas consideráveis. Quando a vazão aplicada é relativamente menor do que o valor médio aceitável proposto em função da declividade, comprimento do sulco e erodibilidade do solo, tem-se perdas excessivas por percolação no trecho inicial do sulco. Quando a vazão é maior que o valor aceitável, tem-se perdas excessivas por escoamento superficial no final do sulco .

FISCHBACH & SOMERHALDER (1971) estimaram que nas condições dos EUA, uma fração importante da água aplicada na irrigação (27% a 43%), pode perder-se por percolação,

escoamento superficial e evaporação.

Leal, citado por PINTO (1980), ao analisar as condições do projeto Bebedouro em Petrolina-Pe, verificou, a nível de parcela, que as perdas por percolação e escoamento superficial foram de 36 % e 31 % respectivamente, sendo que a eficiência de aplicação média foi de 33 % .

QUEIROZ FILHO & MILLAR (1975), verificaram em sulcos construídos em Vertissolo do projeto Mandacará, que a eficiência foi de 35 % para sulcos de 400 m e vazão de 5 l/s. Quando a vazão inicial foi reduzida pela metade, a eficiência aumentou para 50 % .

A primeira análise matemática da perda por percolação foi descrita por CRIDDLE et alii (1956). Na oportunidade recomendou-se que a frente de avanço da água deva atingir o final do sulco em $1/4$ do tempo necessário para aplicação de uma determinada lâmina.

Posteriormente Bishop, citado por PINTO (1980), desenvolveu uma expressão matemática que permite determinar a perda por percolação em função da equação de infiltração e da relação entre o tempo de infiltração e o tempo de avanço.

OLITTA (1977) diz que no manejo tradicional da irrigação por sulcos, utiliza-se uma vazão constante durante todo o tempo de irrigação. Todavia, visando minimizar as perdas por escoamento

superficial no final do sulco, pode-se utilizar vazões grandes não erosivas no início da irrigação, principalmente durante o período de avanço da água, para atingir o máximo comprimento do sulco e depois de atingí-lo, utilizar uma vazão reduzida para minimizar as perdas por escoamento superficial.

Um critério usado na irrigação com redução da vazão ou "cutback" consiste em reduzir a vazão inicial pela metade, logo após completar o avanço (SOUZA & AUGUSTO, 1984).

BERNARDO (1989) salienta que são dois os métodos para calcular a vazão reduzida. Pode-se medir a vazão no final do sulco com diferentes vazões iniciais; ou pode-se calcular pelo método do somatório das infiltrações parciais.

GRASSI (1988) estabelece 3 formas de eficiência para avaliar a qualidade da irrigação: a eficiência de armazenamento, a eficiência de distribuição e a eficiência potencial de aplicação; sendo que, para o autor, estes 3 conceitos permitem explicar os resultados obtidos por diferentes métodos de irrigação.

BERNARDO (1989) recomenda o cálculo dos seguintes parâmetros para a avaliação da irrigação por sulcos: eficiência de condução, eficiência de distribuição, eficiência de aplicação, perdas de água por percolação e perdas de água por escoamento no final do sulco.

MERRIAM & KELLER (1978) recomendam que a avaliação de uma irrigação seja feita pela análise dos seguintes parâmetros: uniformidade de distribuição, eficiência de aplicação potencial e eficiência de aplicação.

2.6. Fluxo Intermitente

É a aplicação intermitente da água de irrigação de modo tal que são criados uma série de períodos de tempo aplicando e não aplicando água, de duração constante ou variável (STRINGHAM, 1988).

Muitas das considerações feitas em relação à irrigação por sulcos são válidas em condições de regime de fluxo contínuo durante o avanço da água no sulco . Estudos conduzidos inicialmente na Universidade de Utah, em Logan, mostraram um comportamento diferente da curva de avanço quando o regime de fluxo é descontínuo . Isto é, com igual volume de água e tempos de aplicação iguais, se obtém maiores distâncias de avanço e melhor uniformidade de lâmina infiltrada no solo ao longo do percurso do sulco, quando o fluxo é descontínuo (STRINGHAM, 1988).

TESTEZLAF (1986) citou dois novos termos em relação à irrigação intermitente : período de intermitência, ou seja, o tempo necessário para completar um ciclo de irrigação, sendo a soma dos tempos de aplicação de água e não aplicação ; outro termo é razão de aplicação, que o autor define como quociente

entre o tempo aplicando água e o chamado período de intermitência.

Segundo SAMANI et alii (1985), na irrigação intermitente, os dois fenômenos básicos que afetam a infiltração e que ocorrem no período em que não se aplica água são : a redistribuição da água infiltrada no perfil, que resulta no desenvolvimento de pressões negativas próximo à superfície do solo que aumentarão a infiltração da água e o selamento parcial da superfície do solo molhado, devido ao umedecimento e subsequente secamento do solo. Maiores velocidades de avanço com a irrigação intermitente, segundo os autores citados, se devem a este selamento parcial e ao molhamento e subsequente adensamento dos solos irrigados que ocorre durante o período de não aplicação da água.

Na irrigação por sulcos, o ideal é minimizar as diferenças entre os tempos de contato ao longo do percurso da água. Assim, a irrigação intermitente, ao invés da irrigação contínua, tem sido proposta como um meio de melhorar a uniformidade da irrigação e a eficiência de aplicação (GRASSI, 1988).

BISHOP et alii (1981) mostraram que, para um tempo determinado (de 100 minutos), a distância de avanço crescia na medida que se aplica maior vazão no sulco, com taxa cíclica menor, no tempo cíclico de 10 minutos. Em outro estudo conduzido e citado no mesmo trabalho, os autores mostram também que para igual taxa cíclica ou razão de aplicação, a distância de avanço

aumenta a medida que a duração do ciclo aumenta. Stringham & Keller, citados por TESTEZLAF (1986), concluíram que as velocidades de avanço da água nos sulcos utilizando fluxo intermitente foram 30 % a 40 % maiores que nos sulcos onde se utilizou fluxo contínuo.

A redução do tempo de avanço nos sulcos com fluxo intermitente está relacionado com a redução da taxa de infiltração nas camadas superficiais do solo (TESTEZLAF, 1986).

AZEVEDO (1989) trabalhou em um solo aluvial eutrófico de textura média, com camada arenosa. Os sulcos tinham 100 m de extensão, declividade de 0,8 % e eram espaçados de 1 m um dos outros. Foram testadas três vazões, 0,65, 1,30 e 1,95 l/s, e dois escoamentos, contínuo e intermitente, sendo que o último com dois tempos cíclicos, de 30 e 60 min, e taxa cíclica de 0,5. Neste estudo concluiu-se que não houve redução no tempo de avanço com o tratamento intermitente em relação ao contínuo nem houve redução no volume de água necessário para completar a fase de avanço na irrigação intermitente quando comparado com escoamento contínuo.

PEREIRA (1991) conduziu um estudo em um latossolo vermelho escuro álico de textura argilosa, fase cerrado. Utilizou sulcos de 90 m de extensão, declividade de 0,65 % e espaçados de 1 m. Foram testadas as vazões de 0,40, 0,80 e 1,20 l/s, sob condição de escoamento contínuo e escoamento intermitente com tempos cíclicos de 20, 40 e 60 min e taxa cíclica de 0,5. Para

as vazões de 0,40 e 0,80 l/s, houve redução do tempo de avanço no escoamento intermitente em relação ao escoamento contínuo. Para a vazão de 1,20 l/s, os tempos de avanço foram similares em ambos regimes de escoamento. Os volumes de água aplicada para completar a fase de avanço foram menores no escoamento intermitente para a vazão de 0,80 l/s e tempo cíclico de 40 e 60 min. O tempo cíclico de 20 min não apresentou vantagens em relação ao escoamento contínuo.

IZUNO et alii (1985) em um estudo sobre irrigação intermitente encontraram que, a partir do segundo pulso na irrigação intermitente, as curvas de avanço foram planas e quase lineares, mostrando que o sulco apresentava baixa infiltração. Este efeito foi atribuído ao fluxo intermitente que, logo após o primeiro ciclo de molhamento e secamento do solo, promoveu redução substancial da velocidade de infiltração.

COOLIDGE et alii (1982) em um trabalho onde foi avaliado o avanço da água e o escoamento superficial em sulcos de irrigação sob condição de fluxo intermitente, encontraram que houve aumento significativo da velocidade de avanço da água nos sulcos, por unidade de água aplicada, e redução da variabilidade espacial e temporal entre sulcos no campo. Sugeriram que a drenagem ocorrida nos sulcos entre dois pulsos consecutivos acelerou a formação de um selo superficial fino que reduziu a velocidade de infiltração.

STRINGHAM (1988) sugeriu que o uso de vazões reduzidas na fase pós-avanço, obtidas pelo ajuste dos tempos cíclicos

principalmente, permite reduzir as perdas por escoamento superficial na irrigação por sulcos.

Sendo a irrigação intermitente uma técnica nova e insuficientemente estudada nas condições brasileiras espera-se, com este estudo, contribuir para seu conhecimento visando sua aplicação em irrigação por sulcos. Para isto serão avaliados os desempenhos das irrigações sob fluxos contínuo, contínuo com redução da vazão inicial e intermitente; e serão avaliados o avanço da água e a infiltração em sulcos de irrigação.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da Area Experimental

O experimento foi conduzido em um podzólico vermelho escuro textura média/argilosa (ANDRADE, 1992 *), que se encontrava em repouso, após uma safra de milho. O solo está localizado na Fazenda Palmital da FAEPE em Ijaci, MG, a 15 Km de Lavras, MG. As coordenadas geográficas do local são 21° 14 ' latitude Sul e 45° 00 ' longitude Oeste. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Cwb, temperado suave, mesotérmico. A temperatura e precipitação média anual são 19,3° C e 1400 mm, respectivamente (CASTRO NETO & SILVEIRA, 1981; VILELA & RAMALHO, 1979).

O trabalho de campo foi desenvolvido no período de vinte e sete de março a vinte e nove de julho de 1992. A área de 0,80 ha foi sistematizada impondo-se declividade longitudinal e transversal médias de 0,0075 m /m e 0,112 m/m, respectivamente. Logo a seguir, a área foi arada com arado de discos reversível e gradeada com grade niveladora e o acabamento da superfície foi

(*): ANDRADE, Hécio. 1992. Comunicação pessoal.

obtido com a passagem de pranchão leve. O sulcamento foi feito de modo a resultar um espaçamento de um metro entre sulcos, obtendo-se um comprimento de 90 m. A declividade dos sulcos foi de 0,93 %.

3.2. Caracterização Físico-Hídrica e Química do solo

A caracterização físico-hídrica e química do solo foi feita conforme metodologia padrão em uso pelo DGS-ESAL. As amostras foram coletadas nas camadas de 0 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm. Para a análise de estabilidade de agregados em água, os torrões foram coletados nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm. As análises de granulometria, argila natural, densidade de partículas, curva de retenção de umidade e composição química foram realizadas em amostras deformadas.

As determinações de densidade global, macro e microporosidade foram realizadas em amostras indeformadas.

Os limites superior e inferior de água disponível do solo foram obtidos da curva de retenção de umidade do solo para os potenciais matriciais de 10 e 1500 KPa, respectivamente.

3.3. Delineamento Experimental e Tratamentos

O experimento constou de 9 tratamentos resultantes da combinação de três vazões e três condições de fluxo. Cada tratamento estava composto de três sulcos, sendo um de medição e dois de bordadura. Os sulcos de medição foram estaqueados de 10

em 10 m representando a estação de medição em toda a extensão deles.

As irrigações, em número de três, foram realizadas aplicando-se a água por meio de tubo janelado equipado com registro de gaveta, manômetro de Bourdon, conexão de giro rápido e janelas com aberturas reguláveis, com extensão.

As vazões foram de 0,60, 0,80 e 1,0 l/s, resultantes de uma avaliação preliminar conduzida na área, e três condições de fluxo: fluxo contínuo, fluxo contínuo com redução da vazão inicial para um valor igual ao valor da vazão infiltrada após 10 minutos de concluída a fase de avanço e fluxo intermitente com tempo cíclico de 60 min e taxa cíclica de 0,5 (ou seja, 30 minutos irrigando-se e 30 minutos sem irrigar), com base em dados da literatura (AZEVEDO, 1989; PEREIRA, 1991).

A vazão de entrada dos sulcos foi medida em forma direta, e controlada por meio de calhas WSC previamente calibradas, instaladas no início dos sulcos. A vazão de saída foi medida por meio de calhas WSC instaladas no final dos sulcos de medição.

Foram realizadas medições de perfil transversal dos sulcos em cada estação ao longo da extensão deles, antes e após cada irrigação, com perfilômetros similares a àquele apresentado por WALKER e SKOGERBOE (1987), que possibilitaram a obtenção do perfil médio dos sulcos.

Durante os testes de campo foram feitas as seguintes medições: vazão de entrada e saída no sulco; tempo de avanço; tempo de recessão, sendo registrada após realizado o corte d'água; e largura do espelho de água no sulco em cada estação.

As equações de avanço e de infiltração foram obtidas pela aplicação do modelo do balanço volumétrico (SCALOPPI, 1984), aplicando-se um programa em linguagem Basic, adaptado para as necessidades e que é apresentado como apêndice E. No tratamento com fluxo intermitente o ajuste das equações de avanço e de infiltração foi feito para cada pulso isoladamente.

Para o dimensionamento da primeira irrigação foram utilizadas equações de infiltração determinadas pelo método do balanço volumétrico em testes preliminares.

Para a segunda e terceira irrigação utilizaram-se as equações de infiltração geradas para cada tratamento durante as avaliações da primeira e segunda irrigação, respectivamente. No caso do fluxo intermitente, a equação utilizada para dimensionamento foi a equação média obtida a partir das equações geradas durante o avanço.

O momento de irrigar foi determinado após analisar a umidade gravimétrica do solo. As amostragens foram realizadas na camada de 0 a 20 cm, com amostras coletadas a 30, 40, 50 e 60 m do início do sulco selecionado. A lâmina de irrigação para elevar a umidade até capacidade de campo foi de 32,6 a 41,2 mm na

primeira irrigação. Nas seguintes foi de 23,9 mm, correspondendo a 50 % da umidade disponível do solo.

3.4. Parâmetros Avaliados nos Testes

A partir das equações de avanço, e de infiltração da água no solo obtiveram-se as lâminas infiltradas ao longo dos sulcos para cada tratamento, as quais foram ajustadas conforme modelo potencial proposto por NORUM et alii (1979). Para adimensionalizar as lâminas infiltradas, cada uma delas foi dividida pela lâmina média infiltrada. Logo a seguir foi determinada a equação de distribuição ajustada que, na forma adimensional, tem a expressão geral seguinte:

$$h = f + g.a^b \quad \text{eq. 23}$$

onde :

h = Lâmina infiltrada, adimensional.

f = h_{\max} , adimensional.

$$g = - \left(\frac{h_{\max} - h_{\min}}{h_{\max} - 1} \right) \quad \text{eq. 24}$$

$$b = \left(\frac{1 - h_{\min}}{h_{\max} - 1} \right) \quad \text{eq. 25}$$

a = Fração da área, adimensional.

Os volumes adimensionais infiltrados foram obtidos pela integração da equação de distribuição ajustada, em função da área, para os limites pre-estabelecidos.

O volume percolado foi obtido por diferença entre o volume total infiltrado e volume armazenado na zona de raízes.

O volume escoado no final do sulco foi obtido por diferença entre o volume total aplicado e o volume total infiltrado.

As avaliações das irrigações foram realizadas mediante o cálculo dos seguintes parâmetros de desempenho : eficiência de aplicação , perdas por percolação, perdas por escoamento superficial, eficiência de armazenamento e uniformidade de distribuição.

A eficiência de aplicação (E_a) foi definida como sendo:

$$E_a = (V_s / V_t) * 100 \quad \text{eq. 26}$$

onde:

V_s = volume armazenado na zona de raízes, adimensional ;

V_t = volume total aplicado, adimensional.

A eficiência de armazenamento (E_s) tem a expressão seguinte :

$$E_s = (V_s / V_r) * 100 \quad \text{eq. 27}$$

sendo:

V_r = volume necessário para repôr umidade na zona de raízes, adimensional.

As perdas por percolação (P_p) podem ser estabelecidas através da seguinte equação :

$$P_p = (V_p / V_t) * 100 \quad \text{eq. 28}$$

onde:

V_p = volume percolado abaixo da zona radicular, adimensional.

As perdas por escoamento superficial (P_e), estão representadas pela expressão :

$$P_e = (V_e / V_t) * 100 \quad \text{eq. 29}$$

sendo que:

V_e = volume escoado no final do sulco, adimensional.

Finalmente, a uniformidade de distribuição (U_d), segundo HART et alii (1979) corresponde à expressão :

$$U_d = (1 + U_c) / 2 \quad \text{eq. 30}$$

sendo:

U_c = coeficiente de uniformidade de Christiansen, dado pela expressão $U_c = 1 - \sum | y_i - \bar{y} | / n \cdot \bar{y}$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características Físico-Hídricas do Solo

Encontram-se no Quadro 2 os resultados da análise granulométrica do solo, a porcentagem de argila natural e a classificação textural. Pelo triângulo de texturas do IAC (COMISSÃO, 1989), o solo foi classificado como sendo de textura média na camada de 0 a 40 cm, com a fração areia fina representando quase um terço do total das unidades texturais do solo. Em solos de cerrado, a proporção de areia fina é importante pois determina a retenção/disponibilidade de água no solo. Isto é, quando se trata de solos velhos, bem estruturados, não há muita diferença de disponibilidade de água entre os solos quando se varia a textura, desde que a areia seja predominantemente mais fina (CURI et alii, 1990).

No Quadro 3 são apresentados os valores médios da densidade global e de partículas. Observa-se que os valores de densidade global são elevados. Isto se deve, provavelmente, ao efeito da mecanização sobre o solo. Os valores de densidade global dependem da porosidade, principalmente macroporosidade, de importância para o fluxo da água e ar no solo.

QUADRO 2 - Resultados da Análise Granulométrica do perfil de Podzólico Vermelho Escuro Eutrófico. Lavras - 1992.

Camadas (cm)	Areia Grossa (%)	Areia Fina (%)	Silte (%)	Argilla (%)	Argilla Natural (%)	Classificação Textural
0 - 20	11,3	27,0	38,3	28,4	18,0	Média
20 - 40	10,0	27,3	32,0	30,7	20,0	Média
40 - 60	9,0	20,0	25,3	45,7	9,0	Argiloso

QUADRO 3 - Densidade Global e Densidade de Partículas do perfil.

Camadas (cm)	Densidade Global do Solo (g/cm ³)	Densidade de Partícu- las do Solo (g/cm ³)
0 - 20	1,49	2,54
20 - 40	1,55	2,79
40 - 60	1,40	2,67

No Quadro 4 encontram-se os resultados da análise de estabilidade de agregados em água de amostras provenientes de torrões, para duas camadas. A análise destes dados mostra que aproximadamente 63 a 67 % dos agregados possuem diâmetro igual ou superior a 0,5 mm. Estes percentuais são inferiores àqueles encontrados por AZEVEDO (1989) em um solo aluvial eutrófico e por PEREIRA (1991) em um latossolo vermelho-escuro álico. Isto faz deste solo, um solo menos estruturado com agregados menos estáveis a água que aqueles já citados.

Pode-se observar no Quadro 5 que os valores de macroporosidade e porosidade total são relativamente baixos caracterizando o solo com permeabilidade possivelmente limitada, que afetará os processos de movimento de água e ar no solo.

Na Figura 1 encontram-se as curvas de retenção de umidade para as camadas de 0 a 20 , 20 a 40, e 40 a 60 cm. Os dados respectivos encontram-se no apêndice A. Os valores de umidade para os limites superior e inferior de disponibilidade, na camada de 0 a 20 cm, são de 30,60 e 14,56 % , que determinam uma disponibilidade total de água de 2,39 mm/cm de solo. Para as camadas de 20 a 40 cm e 40 a 60 cm, os limites superiores de disponibilidade são de 30,95 e 33,74 %, respectivamente. Os limites inferiores de disponibilidade para essas camadas, são de 14,16 e 17,61 % , respectivamente. Isto determina uma disponibilidade total de água de 2,60 mm/cm de solo na camada de 20 a 40 cm e de 2,26 mm/cm, na camada de 40 a 60 cm.

QUADRO 4 - Porcentagens de Agregados Retidos nas Diversas Peneiras na Análise de Estabilidade de Agregados em Água .

Camadas (cm)	Diâmetro (mm)					
	2	1	0,5	0,25	0,105	< 0,105
0 - 20	36,25	9,4	18,05	16,23	13,27	6,80
20 - 40	36,41	12,53	18,31	14,93	12,76	5,06

QUADRO 5 - Volume Total de Poros - (VTP), Macro e Microporosidade.

Camada (cm)	Macropo- rosidade (%)	Micropo- rosidade (%)	Vol. Total de Poros (%)
0 - 20	3,27	34,23	37,50
20 - 40	4,21	35,03	39,24
40 - 60	5,28	33,77	39,05

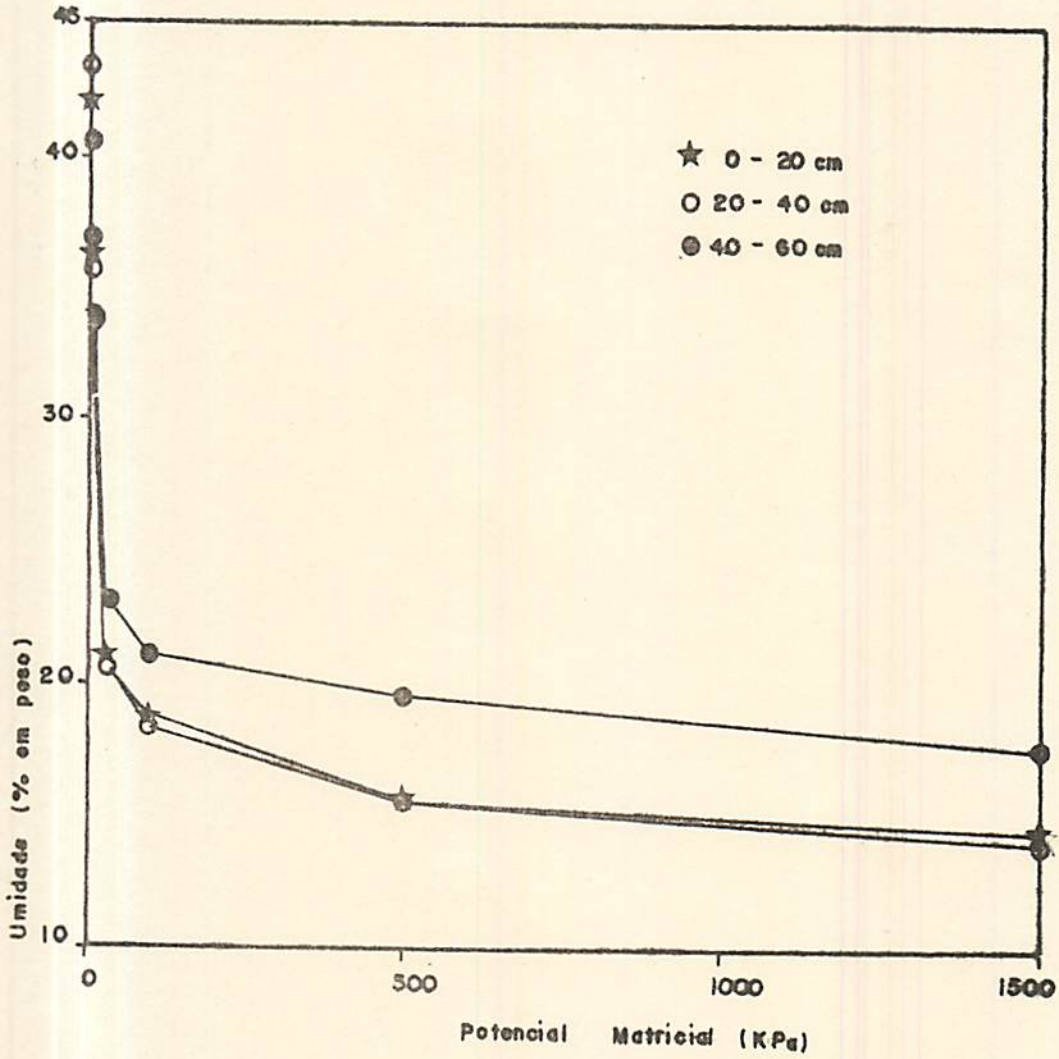


FIGURA 1 - Curvas de retenção de umidade do solo para as camadas de 0 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm.

4.2. Resultados de Avanço da Água no Sulco para Primeira Irrigação

As Figuras 2, 3 e 4 mostram as curvas de avanço para os regimes de fluxo contínuo, com e sem redução da vazão inicial e intermitente, observados durante a primeira irrigação para as vazões de 0,6, 0,8 e 1,0 l/s, respectivamente. As equações respectivas encontram-se no apêndice G.

Pode-se observar que durante o primeiro pulso as curvas de avanço para o primeiro trecho de 20 m, foram similares para os fluxos contínuo e intermitente na vazão de 0,6 l/s; indicando condições similares dos sulcos nesse trecho. A partir daí, as condições de fluxo foram diferentes, o mesmo ocorrendo para as vazões de 0,8 e 1,0 l/s (Figuras 2 , 3 e 4). Observa-se que a água escoou rapidamente sobre o solo molhado por pulsos prévios, onde as curvas, a partir do segundo pulso, e para extensões crescentes de sulco nos pulsos seguintes, se apresentam lineares e com tendência a horizontalidade. Este comportamento das curvas de avanço é indicativo de velocidades de infiltração mais reduzidas, coincidindo com resultados apresentados por IZUNO et alii (1985).

4.3. Resultados de Infiltração para Primeira Irrigação

As Figuras 5, 6 e 7 mostram as curvas de lâminas infiltradas para diferentes tempos de oportunidade durante a primeira irrigação para três vazões. As equações respectivas

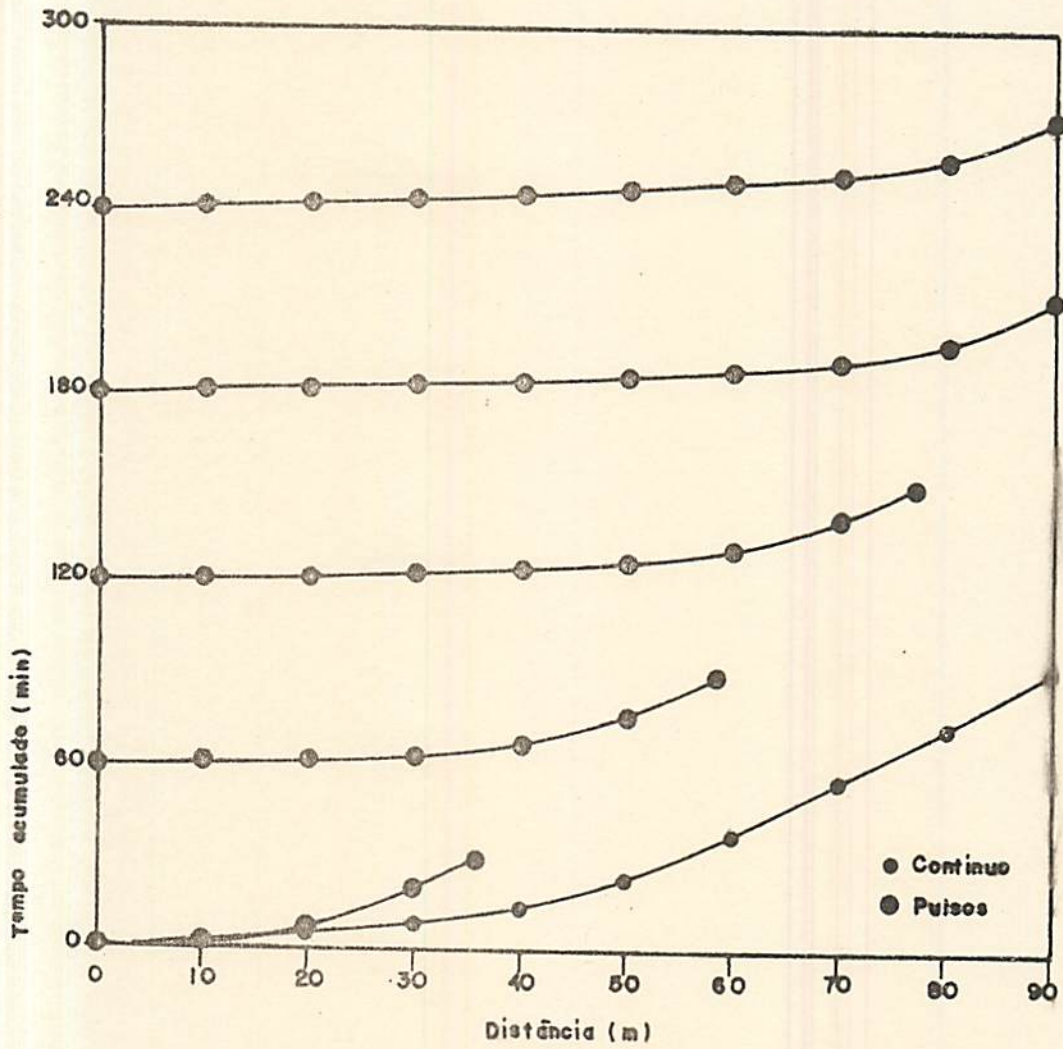


FIGURA 2 - Curvas de avanço (observadas), para os escoamentos contínuo e intermitente obtidos durante a primeira irrigação para a vazão de 0,6 l/s.

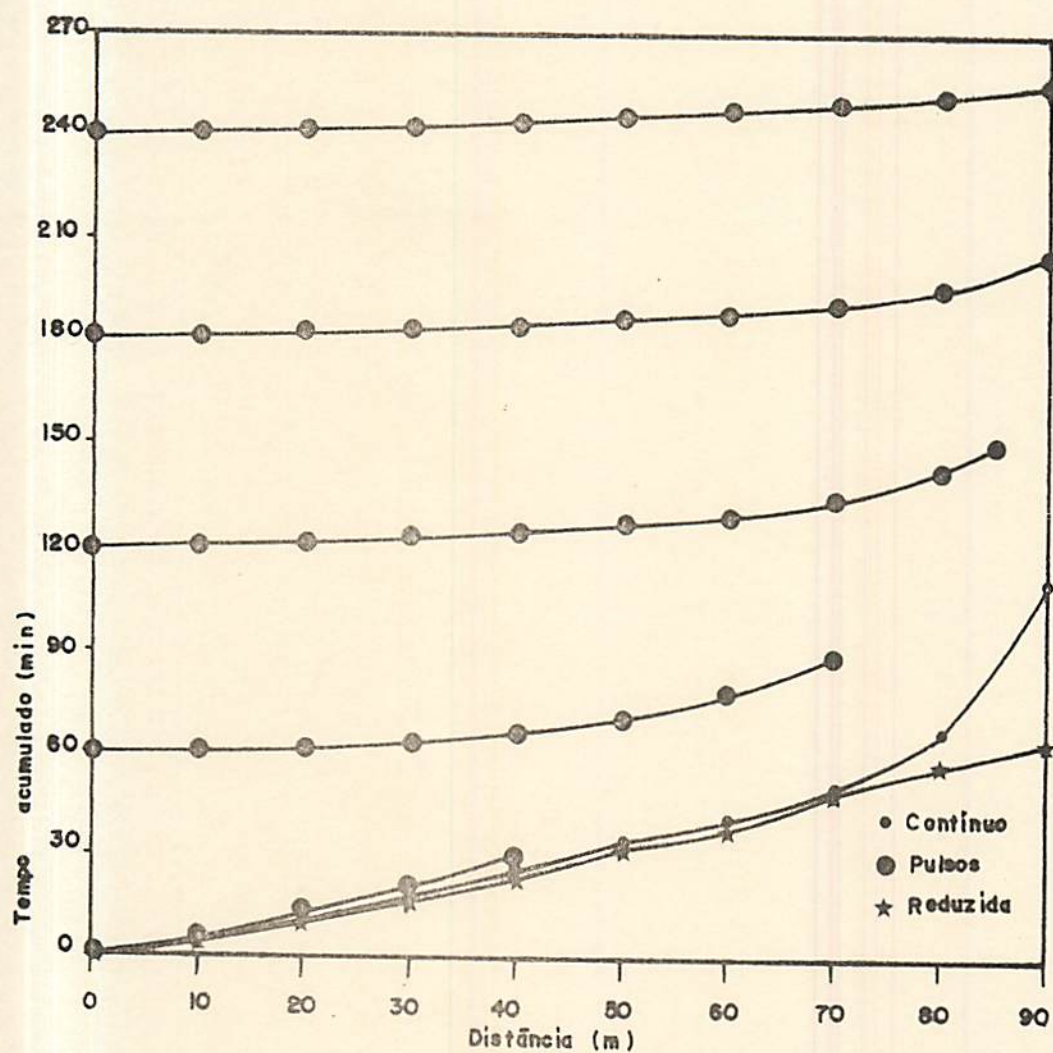


FIGURA 3 - Curvas de avanço (observadas), para os escoamentos contínuo e intermitente obtidos durante a primeira irrigação para a vazão de 0,8 l/s.

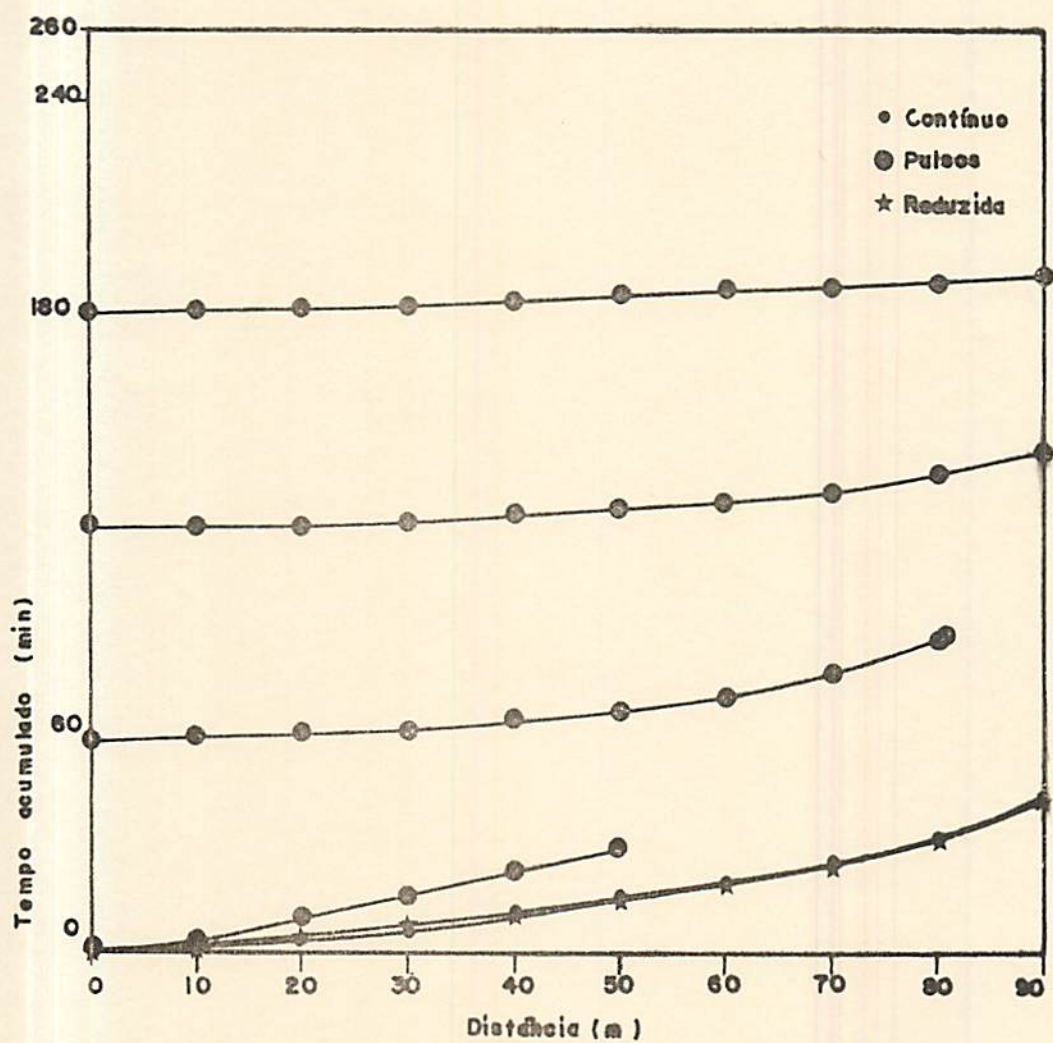


FIGURA 4 - Curvas de avanço (observadas), para os escoamentos contínuo e intermitente obtidos durante a primeira irrigação para a vazão de 1,0 l/s.

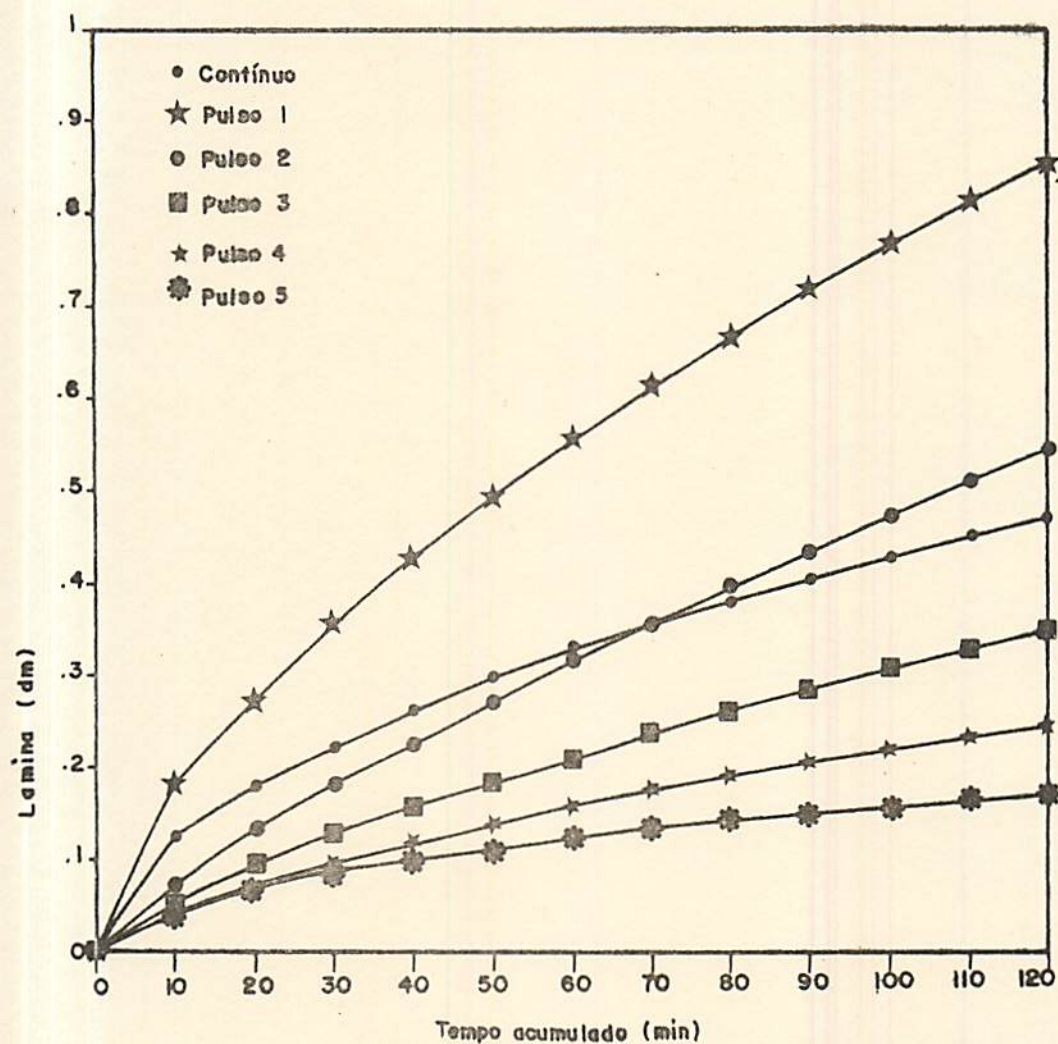


FIGURA 5 - Curvas de infiltração acumulada para os escoamentos contínuo e intermitente obtidos para a vazão de 0,6 l/s durante a primeira irrigação, e para espaçamento de 1 m.

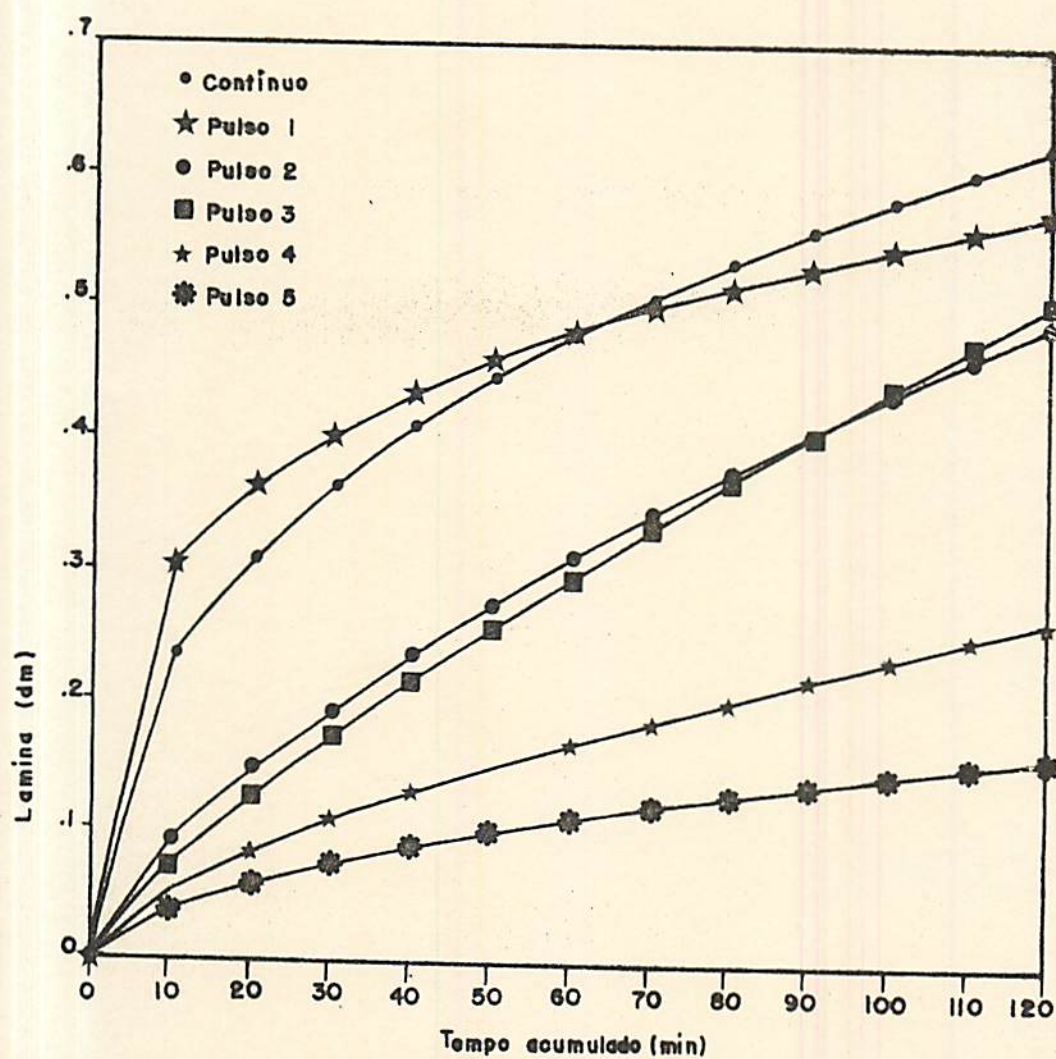


FIGURA 6 - Curvas de Infiltração acumulada para os escoamentos contínuo e intermitente obtidos para a vazão de 0,8 l/s durante a primeira irrigação, e para espaçamento de 1 m.

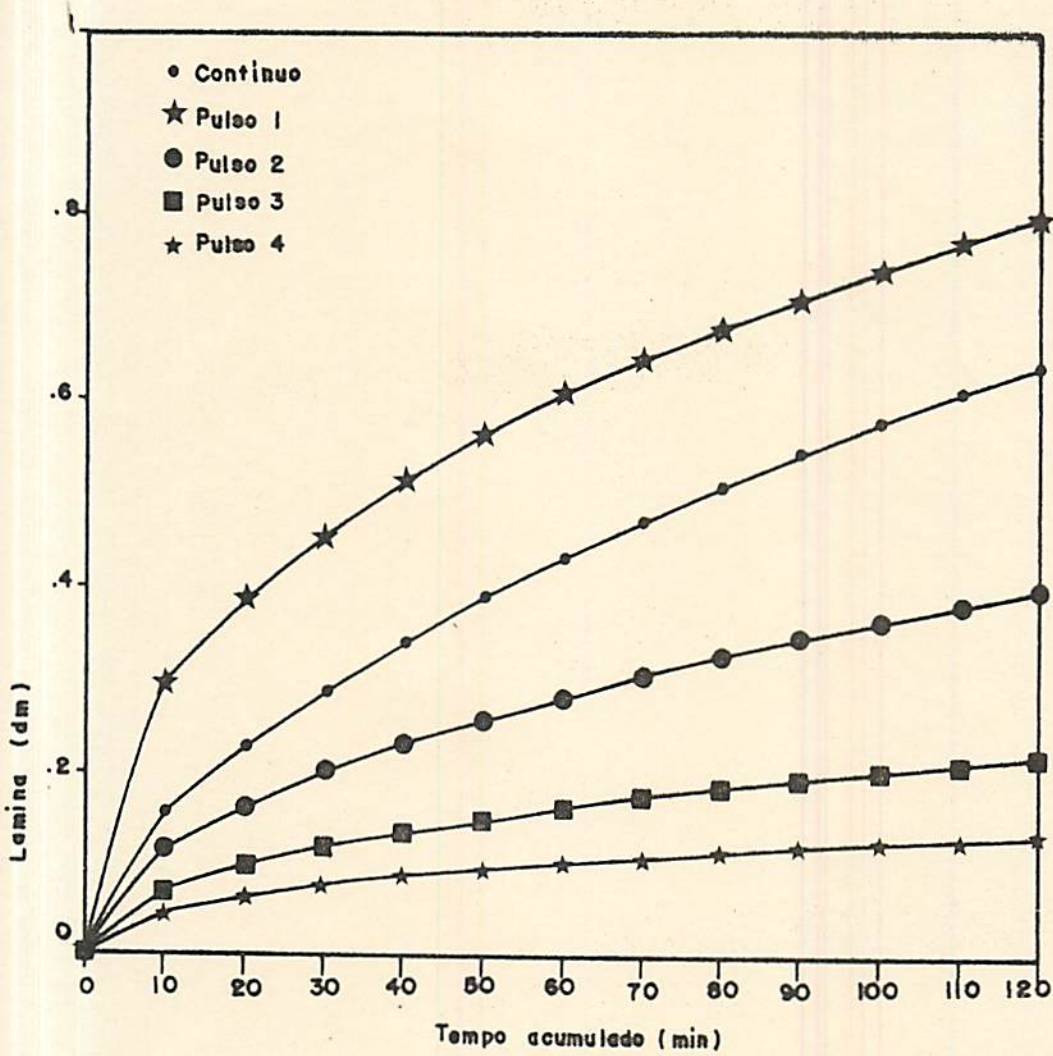


FIGURA 7 - Curvas de infiltração acumulada para os escoamentos contínuo e intermitente obtidos para a vazão de 1,0 l/s durante a primeira irrigação, e para espaçamento de 1 m.

encontram-se no apêndice C. Observa-se que há redução progressiva nos valores de lâminas infiltradas a partir do segundo pulso da irrigação intermitente, em relação ao primeiro pulso. Esta redução nos valores de infiltração comprova a tendência observada no comportamento das curvas de avanço.

4.4. Resultados de Avanço para Três Irrigações

Na Figura 8 são mostrados os resultados de avanço observados no regime de fluxo contínuo, na vazão de 0,8 l/s para três irrigações consecutivas. Observa-se que há uma redução dos tempos de avanço da primeira para a terceira irrigação.

A terceira irrigação apresentou maiores tempos de avanço que a segunda irrigação. Isto se atribui às condições diferentes de umidade inicial e presença de algumas fendas observadas nos sulcos durante a terceira irrigação.

4.5. Resultados de Infiltração para Três Irrigações

Na Figura 9 são apresentados os resultados de infiltração observados no regime de fluxo contínuo, na vazão de 0,8 l/s para três irrigações consecutivas. Observa-se que há uma redução das lâminas infiltradas da primeira para a segunda e terceira irrigação. A terceira irrigação apresentou maiores valores de lâmina infiltrada que a segunda irrigação. Isto é atribuído às condições diferentes de umidade inicial e presença de algumas fendas observadas nos sulcos durante a terceira irrigação.

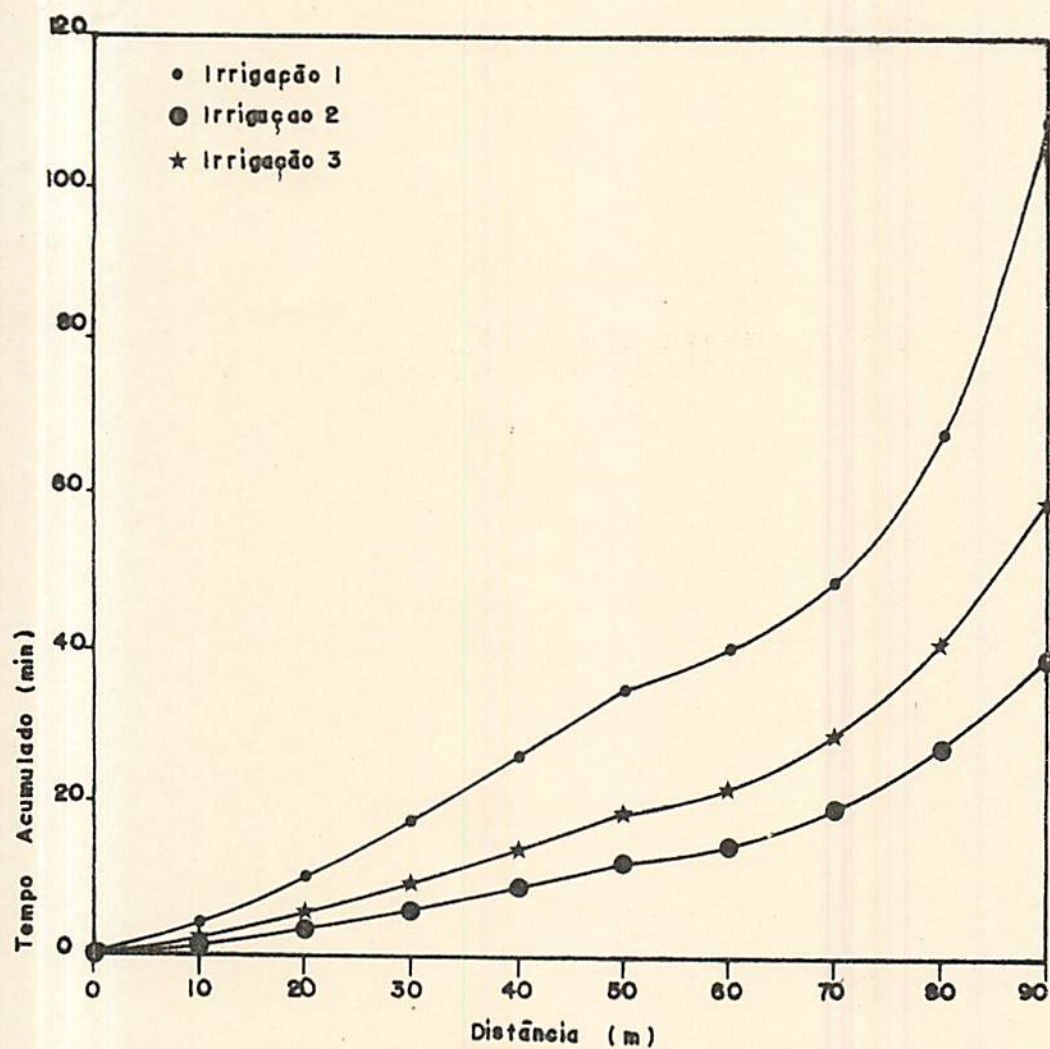


FIGURA 8 - Curvas de avanço (observadas), obtidas para fluxo contínuo durante três irrigações consecutivas, para a vazão de 0,8 l/s.

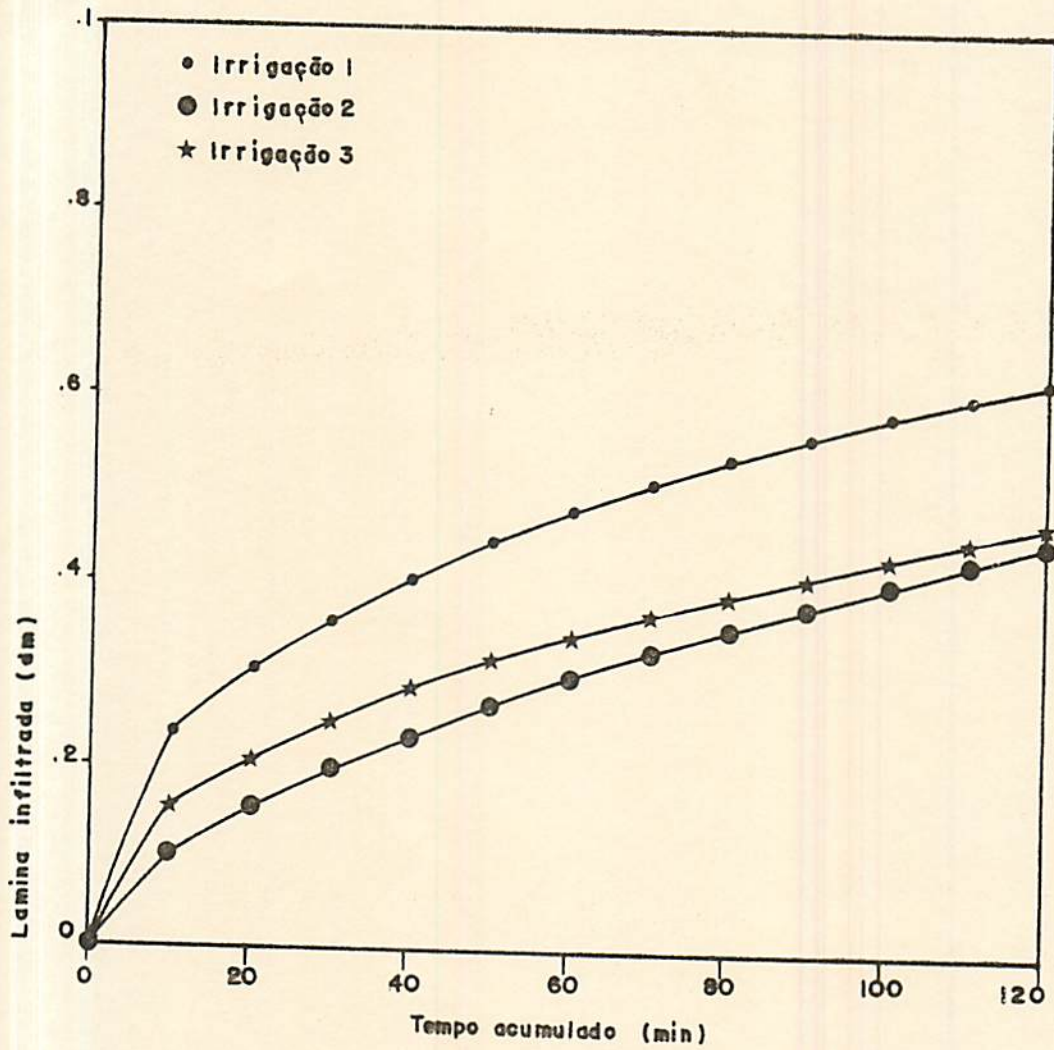


FIGURA 9 - Curvas de infiltração acumulada obtidas para escoamento contínuo durante três irrigações consecutivas, para a vazão de 0,8 l/s e para espaçamento de 1 m.

4.8. Resultados para Todas as Irrigações

4.8.1. Tempo de Avanço

No Quadro 6 encontram-se os tempos de avanço para os fluxos contínuo, contínuo com redução da vazão inicial e intermitente, para as três vazões testadas, obtidas durante três irrigações consecutivas.

Em geral foram observados maiores tempos de avanço no fluxo intermitente em relação aos fluxos contínuo e contínuo com redução da vazão inicial, contrariando resultados na literatura que indicam a irrigação intermitente como sendo aquela que promove redução nos tempos de avanço (BISHOP et alii, 1981. GOLDHAMER et alii, 1987; COOLIDGE et alii, 1982; STRINGHAM, 1988).

Todavia, estes resultados concordam com aqueles apresentados por AZEVEDO et alii (1990).

A superioridade do desempenho do fluxo contínuo e contínuo com redução da vazão inicial sobre o intermitente é devida, possivelmente, à variabilidade encontrada nas condições dos sulcos e demonstrada pelo comportamento das curvas de avanço durante o primeiro pulso em relação ao fluxo contínuo (Figuras 2, 3 e 4). Isto está de acordo com o que indicam BERNARDO (1989) e GRASSI (1988), ao salientar que as diferenças no comportamento do avanço em sulcos deve-se, entre outros fatores,

QUADRO 6 - Tempos Necessários para Completar Fase de Avanço (min) em Três Irrigações Consecutivas, nos Escoamentos Contínuo, Contínuo com Redução de Vazão Inicial e Intermitente.

Irrigação	Vazão (l/s)	Escoamento Contínuo	Esc.Contínuo c/Red. Vazão	Esc. Intermitente TC = 60 min
1	0,60	92	**	120
	0,80	111	64	115
	1,00	43	45	81
2	0,60	30	**	51
	0,80	39	30	59
	1,00	23	20	25
3	0,60	*	**	*
	0,80	60	36	47
	1,00	27	23	26

* : Testes não realizados por problemas no bombeamento.

** : Tratamento perdido.

à diferença na condição dos sulcos de irrigação.

Observa-se também no Quadro 6 que a vazão afeta de modo direto a velocidade de avanço. A tendência observada é de aumento da velocidade de avanço com o aumento da vazão aplicada. Contudo, esta tendência não é tão definida no escoamento contínuo, particularmente quando se compara a vazão de 0,6 l/s com as outras. Isto é atribuído à variabilidade espacial e à presença de algumas fendas observadas em alguns sulcos de irrigação.

Os maiores tempos de avanço ocorreram durante a primeira irrigação (Quadro 6) fazendo desta irrigação a mais crítica do ponto de vista operacional, quando extrapolam-se estes resultados para as condições existentes em áreas irrigadas por sulcos.

4.6.2. Volume de Água Aplicado

Conforme pode ser observado no Quadro 7, particularmente para a primeira irrigação, o aumento dos tempos de avanço para a irrigação intermitente em relação ao contínuo e contínuo com redução da vazão inicial provocou aumento nos requerimentos volumétricos de água para completar a fase de avanço. Os volumes de água necessários para completar a fase de avanço foram menores durante a segunda irrigação e subsequentes devido, provavelmente, ao efeito de selamento superficial causado pela consolidação do solo previamente molhado, conforme indicam COOLIDGE et alii (1982).

QUADRO 7 - Volumes de Água (litros) Necessários para Conclusão da Fase de Avanço em Três Irrigações Consecutivas para as Vazões de 0,6, 0,8 e 1,0 l/s em Condições de Escoamento Contínuo, Contínuo com Redução de Vazão Inicial e Escoamento Intermitente.

Irrigação	Lâmina Aplicada (mm)	Vazão (l/s)	Escoamento Contínuo	Esc. Contínuo c/Red. Vazão Inicial	Escoamento Intermitente TC = 60 min
1	32,6-41,2	0,60	3306	**	4317
		0,80	5326	3050	5516
		1,00	2550	2675	4830
2	23,9	0,60	1086	**	1818
		0,80	1878	1460	2840
		1,00	1369	1196	1510
3	23,9	0,60	*	**	*
		0,80	2888	1747	2260
		1,00	1629	1362	1536

** : Tratamento perdido.

* : Testes não realizados por problemas no bombeamento.

QUADRO 8 - Tempo de Irrigação (min) para o Escoamento Contínuo e Contínuo com Redução de Vazão Inicial e Número de Pulsos para o Escoamento Intermitente.

Irrigação	Vazão (l/s)	Escoamento	Esc. Contínuo	Esc. Intermitente
		Contínuo Tempo (min)	c/Red. Vazão Inicial Tempo (min)	TC = 60 min Pulsos
1	0,60	120	**	5
	0,80	149	102	5
	1,00	65	68	4
2	0,60	62	**	4
	0,80	50	40	3
	1,00	44	47	2
3	0,60	*	**	*
	0,80	102	120 a	4
	1,00	120 a	67	4

* : Testes não executados por problemas no bombeamento.

** : Tratamento perdido.

a : Tempo de irrigação reduzido para 120 minutos por problemas operacionais.

4.8.3. Tempo de Irrigação

No Quadro 8 se apresentam os tempos de irrigação, que correspondem à soma dos tempos de avanço mais o tempo de aplicação da lâmina de água no final do sulco, para os regimes de fluxo contínuo, contínuo com redução da vazão inicial e número de pulsos para o fluxo intermitente.

Os menores tempos de irrigação, computados para a segunda irrigação, atribuem-se a uma redução do tempo de avanço em relação à primeira irrigação e a uma redução dos tempos de aplicação necessários para reposição da lâmina de irrigação, obtidos a partir das equações de infiltração geradas durante a primeira irrigação.

A vazão afeta o tempo de irrigação sendo que em geral, maiores vazões determinam menores tempos de irrigação, devido, a seu efeito sobre o tempo de avanço e sobre a infiltração. Contudo, neste estudo, a tendência não foi tão definida assim devido, provavelmente, à variabilidade espacial que afetou o desempenho das irrigações.

Os tempos de irrigação aumentaram na terceira irrigação dado um aumento nos tempos de reposição de água. Isto se deve a redução do valor da velocidade de infiltração na segunda irrigação, que foi utilizado no dimensionamento da terceira.

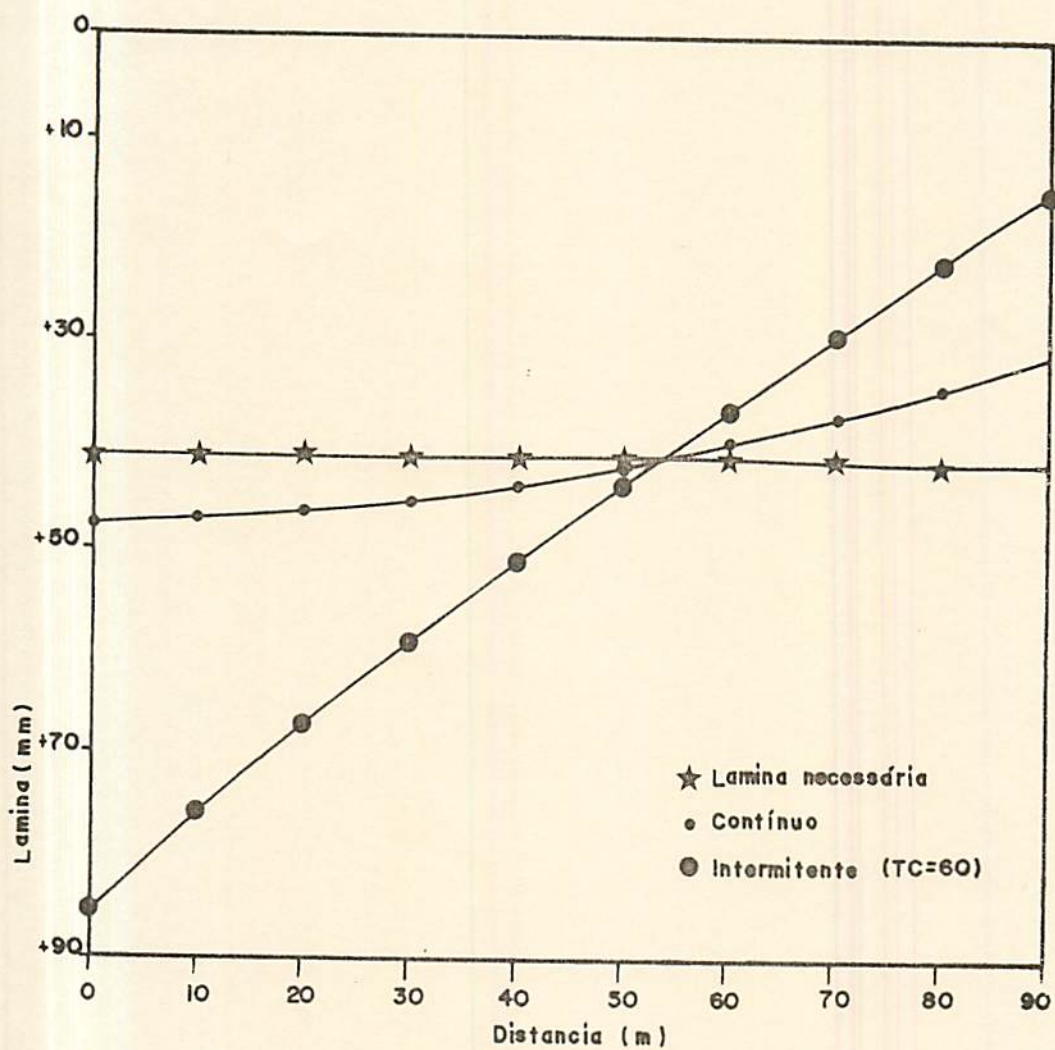


FIGURA 10 - Perfis de distribuição da lâmina infiltrada, ajustadas pelo modelo potencial, para os escoamentos contínuo e intermitente para a primeira irrigação e vazão de 0,6 l/s.

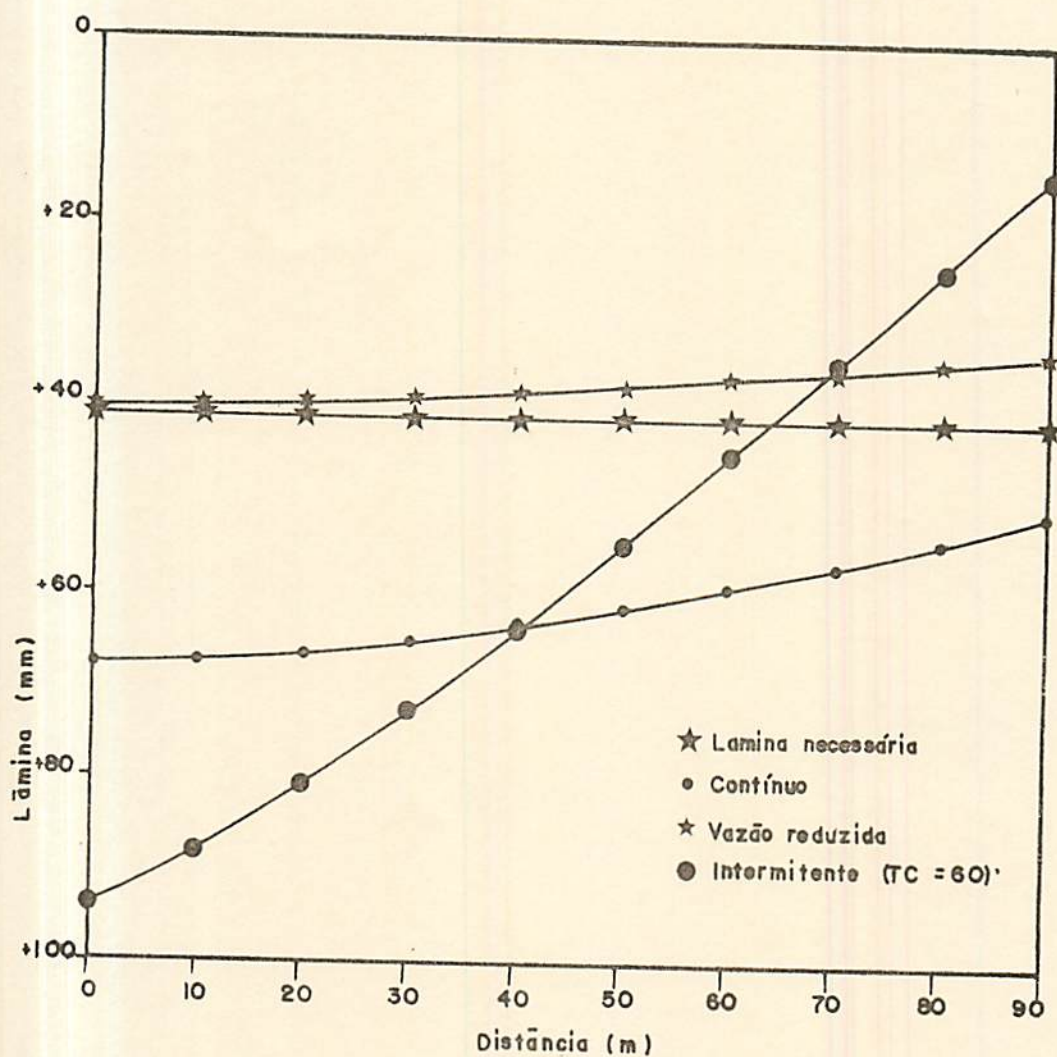


FIGURA 11 - Perfis de distribuição da lâmina infiltrada, ajustadas pelo modelo potencial, para os escoamentos contínuo, contínuo com redução de vazão inicial e intermitente, para a primeira irrigação e vazão de 0,8 l/s.

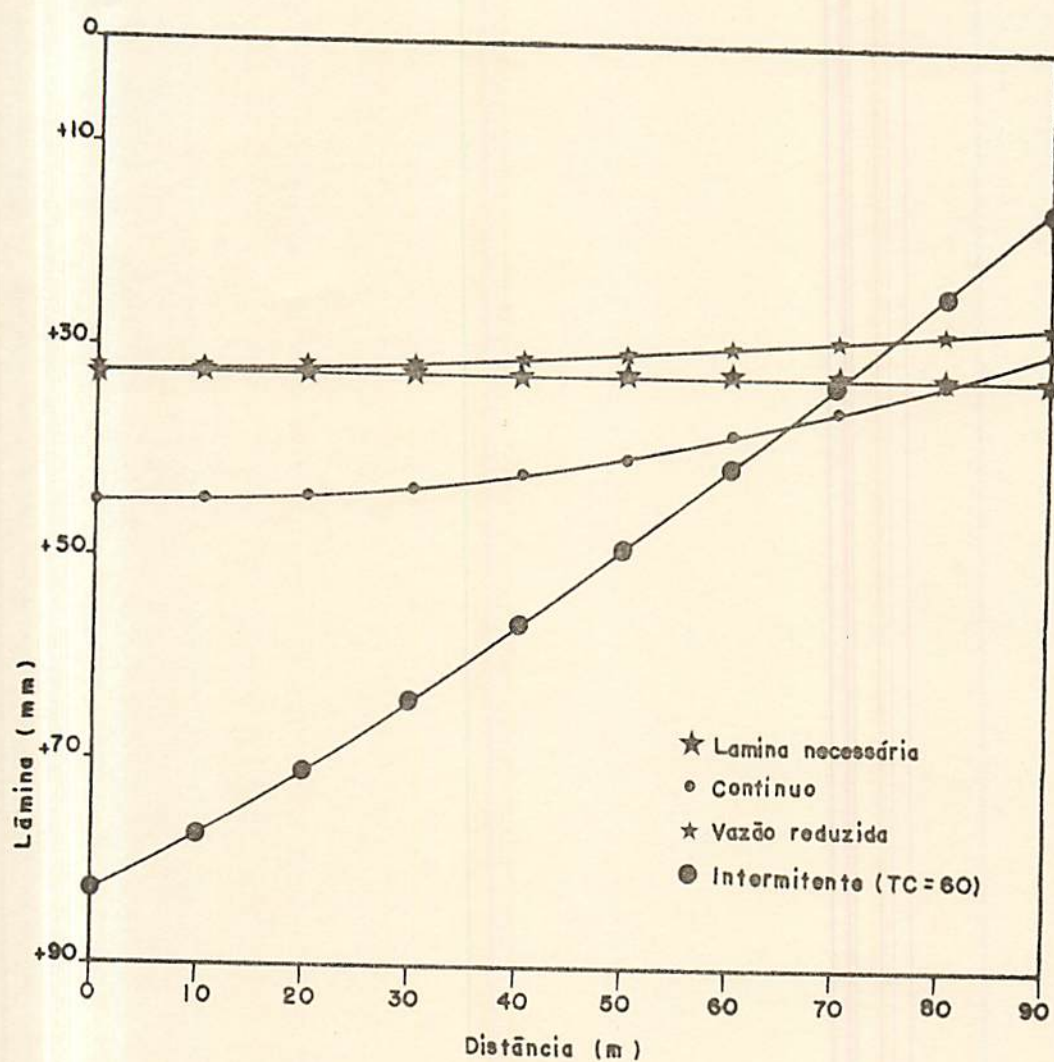


FIGURA 12 - Perfis de distribuição da lâmina infiltrada, ajustadas pelo modelo potencial, para os escoamentos contínuo, contínuo com redução de vazão inicial e intermitente, para a primeira irrigação e vazão de 1,0 l/s.

4.6.4. Perfil de Distribuição de Lâmina Infiltrada

A lâmina requerida e os perfis de infiltração para a primeira irrigação nos regimes de fluxo contínuo, contínuo com redução da vazão inicial e intermitente, para três vazões, encontram-se nas Figuras 10, 11 e 12, respectivamente. As equações de perfis das lâminas infiltradas se encontram no apêndice D.

A primeira irrigação feita pelo fluxo intermitente e pelo fluxo contínuo com redução da vazão inicial foi deficiente para as vazões testadas. Para o fluxo contínuo, a irrigação foi deficiente com as vazões de 0,6 l/s e 1,0 l/s, e excessiva para a vazão de 0,8 l/s.

Estas deficiências são atribuídas ao comportamento das equações obtidas pelo método do balanço volumétrico e utilizadas para o dimensionamento da irrigação, e à variabilidade das condições iniciais dos sulcos por ocasião da primeira irrigação.

As perdas por percolação no início do sulco foram maiores no fluxo intermitente (Figuras 10, 11 e 12) que no contínuo, devidas às elevadas velocidades de infiltração ocorridas, principalmente durante o primeiro pulso.

Nas Figuras 13, 14 e 15 encontram-se os perfis de lâminas infiltradas e lâmina necessária para a segunda irrigação, para os

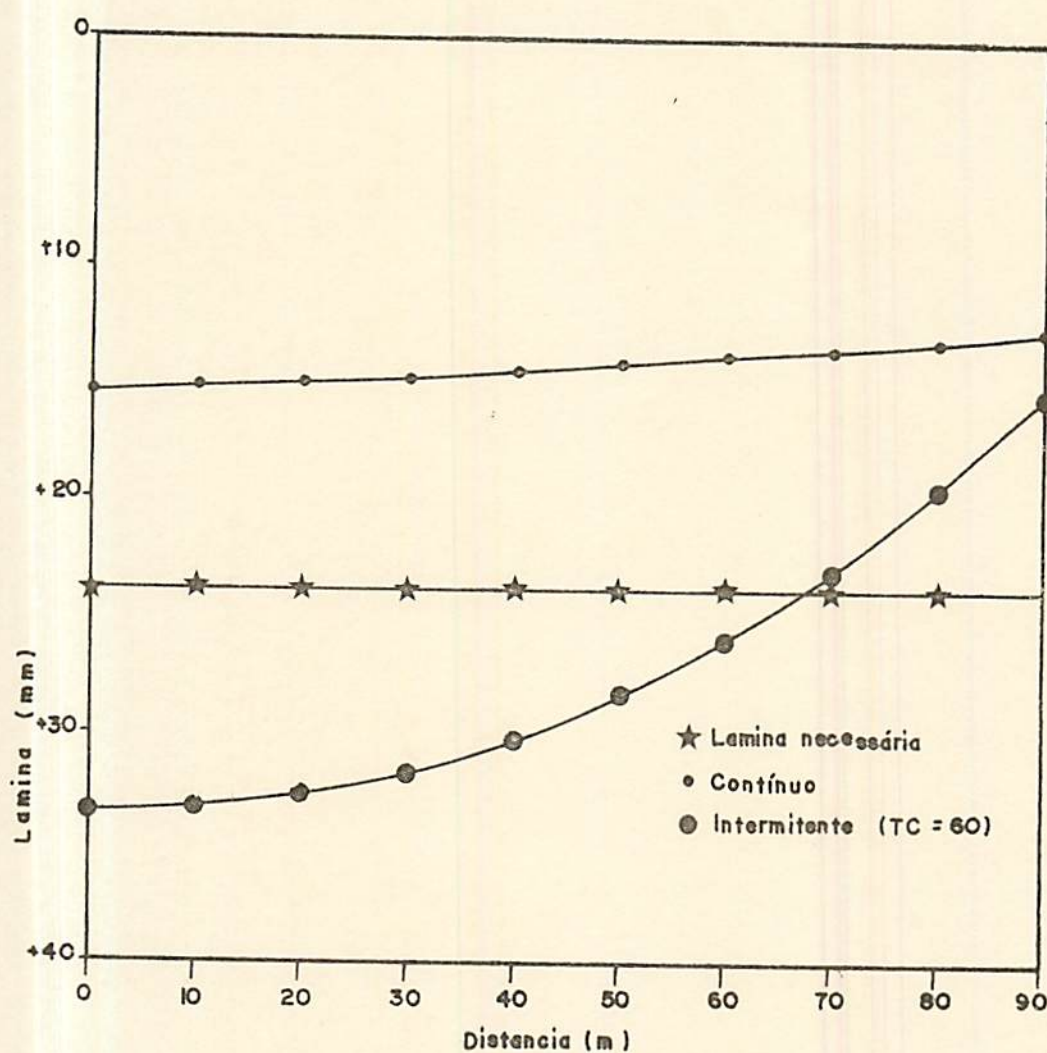


FIGURA 13 - Perfis de distribuição de lâmina infiltrada, ajustadas pelo modelo potencial, para os escoamentos contínuo e intermitente para a segunda irrigação e vazão de 0,6 l/s.

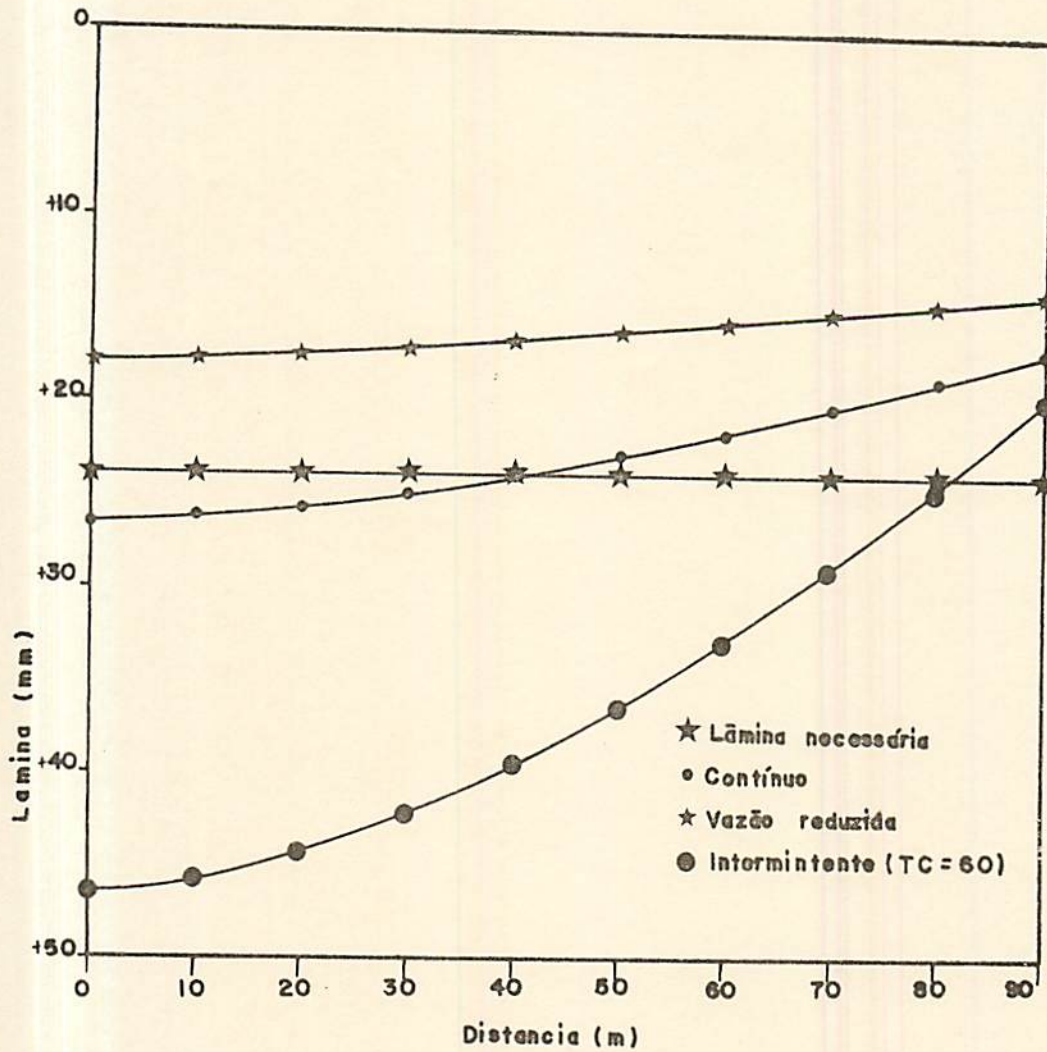


FIGURA 14 - Perfis de distribuição de lâmina infiltrada, ajustadas pelo modelo potencial, para os escoamentos contínuo, contínuo com redução de vazão inicial e intermitente, para a segunda irrigação e vazão de 0,8 l/s.

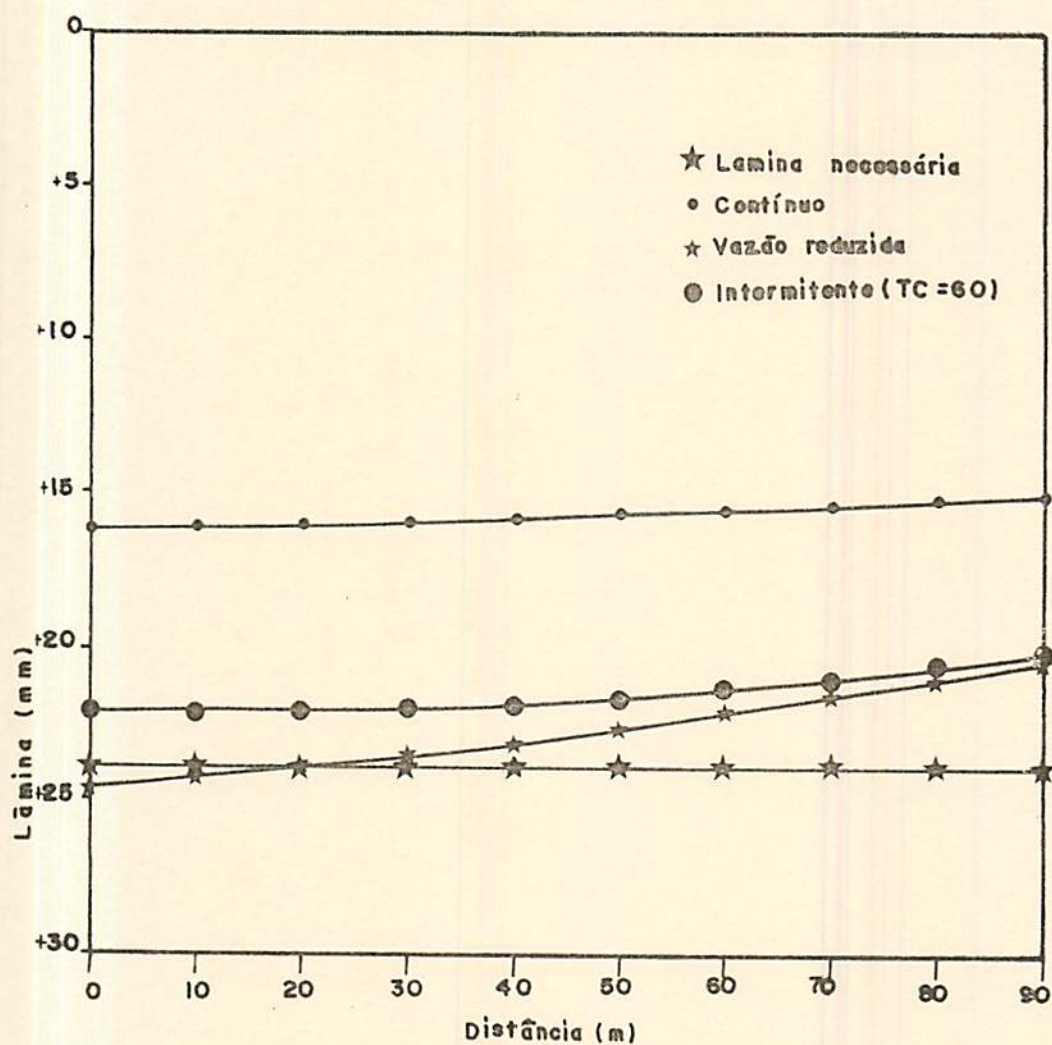


FIGURA 15 - Perfis de distribuição de lâmina infiltrada, ajustadas pelo modelo potencial, para os escoamentos contínuo, contínuo com redução de vazão inicial e intermitente, para a segunda irrigação e vazão de 1,0 l/s.

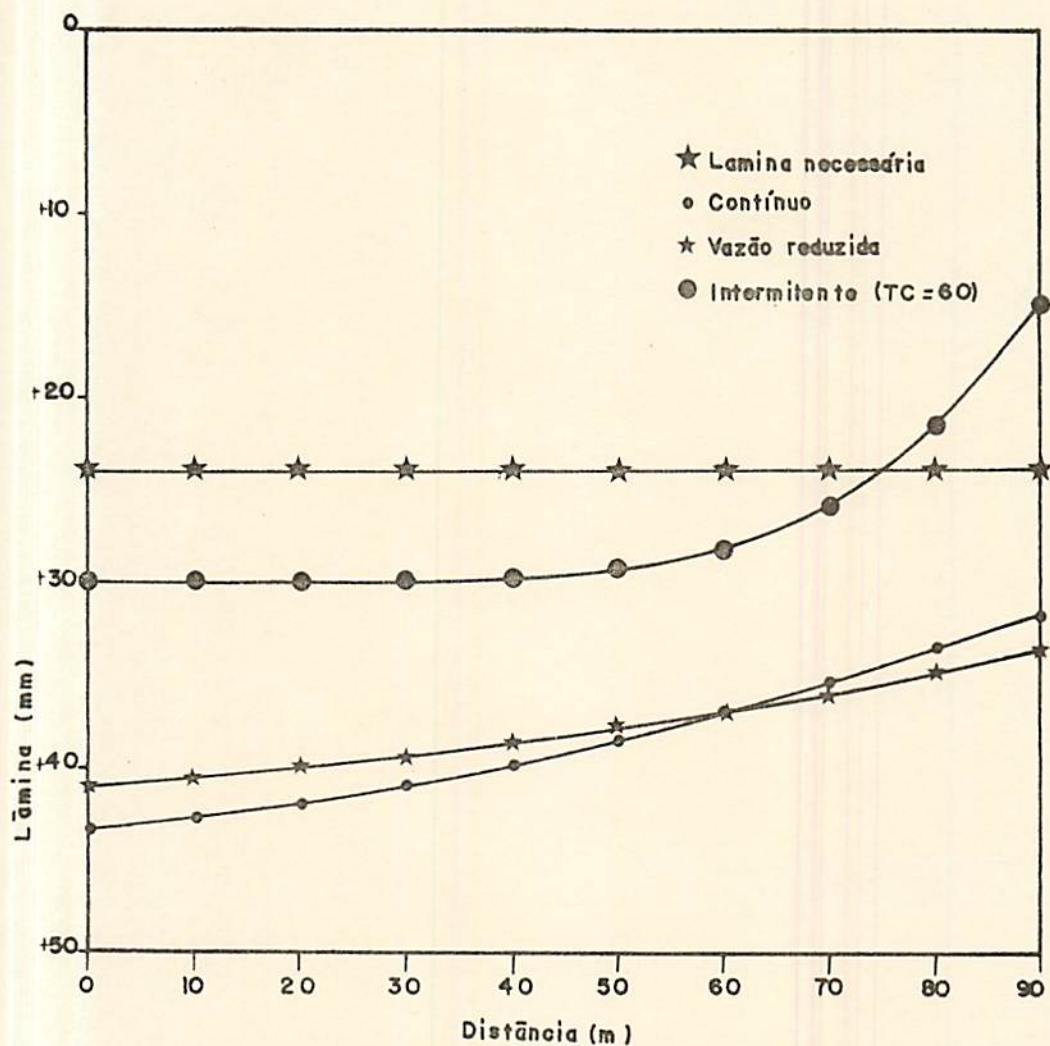


FIGURA 16 - Perfis de distribuição de lâmina infiltrada, ajustadas pelo modelo potencial, para os escoamentos contínuo, contínuo com redução de vazão inicial e intermitente, para a terceira irrigação e vazão de 0,8 l/s.

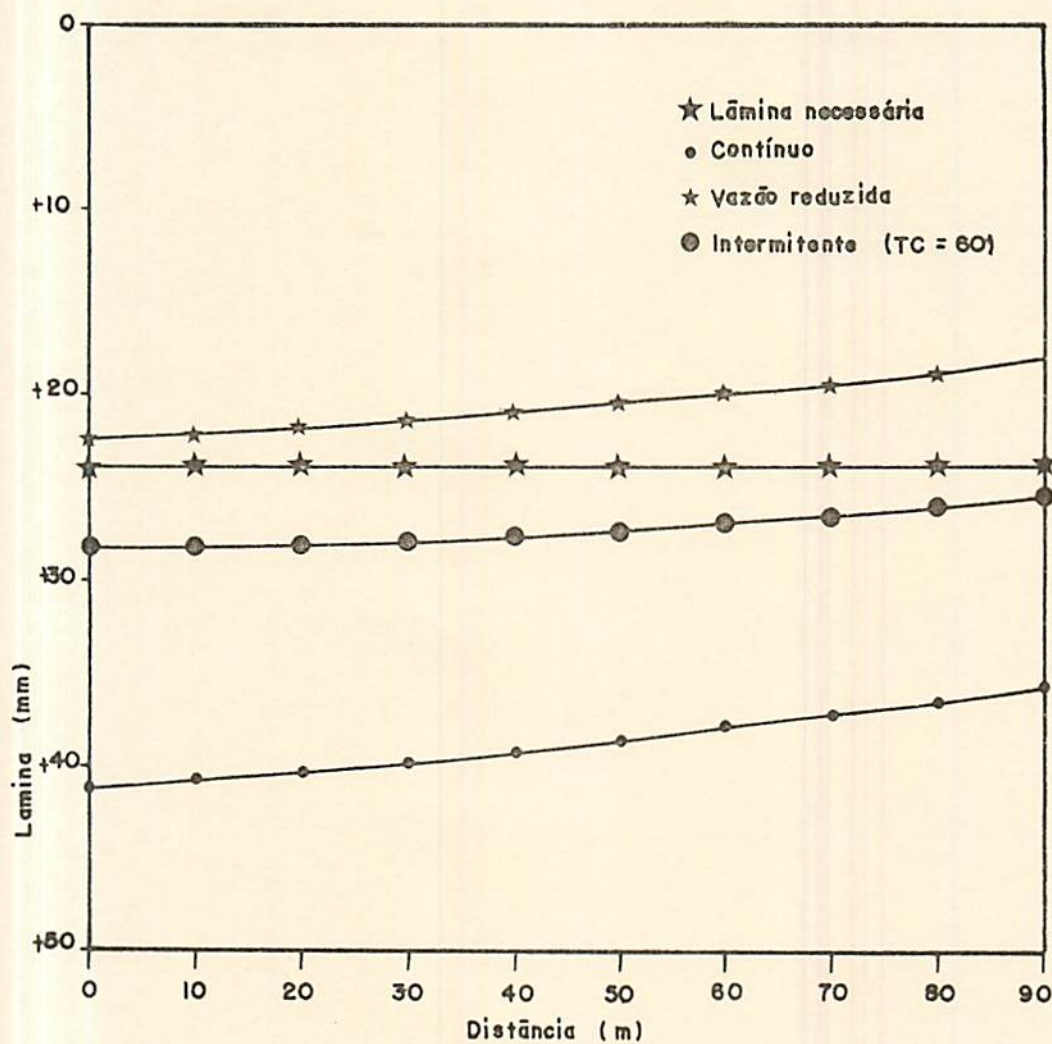


FIGURA 17 - Perfis de distribuição de lâmina infiltrada, ajustadas pelo modelo potencial, para os escoamentos contínuo, contínuo com redução de vazão inicial e intermitente, para a terceira irrigação e vazão de 1,0 l/s.

três regimes de fluxo e vazões testadas. Observa-se que as irrigações foram todas deficientes. Esta deficiência produzida pelo dimensionamento inadequado da irrigação é atribuída à equação de infiltração utilizada, gerada sob condições da primeira irrigação quando as diferenças nas condições hidráulicas e de umidade dos sulcos foram extremas em relação às outras irrigações. As perdas por percolação profunda no início do sulco foram maiores para o fluxo intermitente, nas vazões de 0,6 e 0,8 l/s.

Nas Figuras 16 e 17 apresentam-se os perfis de infiltração e lâmina necessária para os diferentes regimes de fluxos e vazões de 0,8 e 1,0 l/s para a terceira irrigação. O dimensionamento da irrigação foi excessivo, aplicando-se lâminas superiores às necessárias para o fluxo contínuo e contínuo com redução da vazão inicial e deficientes no final do sulco para a irrigação intermitente na vazão de 0,8 l/s. Isto determina perdas grandes por percolação profunda no fluxo contínuo e contínuo com redução da vazão inicial. No intermitente, as perdas ocorreram ao longo de quase toda a extensão de sulco porém, em menor proporção.

Para a vazão de 1,0 l/s, o dimensionamento da irrigação propiciou irrigação excessiva nos fluxos intermitente e contínuo, e deficiente, no fluxo contínuo com redução da vazão inicial. As dificuldades encontradas para dimensionamento da irrigação em todos os regimes de fluxo se atribui principalmente a variabilidade espacial da infiltração.

4.7. Parâmetros de Desempenho

4.7.1. Eficiência de Aplicação (E_a), Perdas por Percolação (P_p) e Perdas por Escoamento Superficial (P_e)

Os resultados de eficiência de aplicação, perdas por percolação e perdas por escoamento superficial são apresentados no Quadro 9.

Durante a primeira irrigação, considerada a mais crítica do ponto de vista operacional, a maior eficiência de aplicação foi obtida na vazão 0,8 l/s, no fluxo contínuo, com 82 %. A mudança deste tratamento para intermitente representa perdas na eficiência de aplicação devidas principalmente ao aumento das perdas por escoamento superficial (Quadro 9). Estas perdas são devidas à uma redução progressiva da velocidade de infiltração a partir do segundo pulso.

Para as vazões de 0,8 e 1,0 l/s durante a primeira irrigação, as mudanças do fluxo contínuo para contínuo com redução da vazão inicial foram pouco vantajosas, do ponto de vista da eficiência de aplicação obtida. Todavia, se assumidas condições similares dos sulcos, as vantagens serão para o fluxo contínuo com redução da vazão inicial. Uma mudança de fluxo contínuo para intermitente, nas condições deste estudo seria pouco recomendável.

As maiores perdas no fluxo intermitente ocorreram por

QUADRO 9 - Eficiência de Aplicação - Ea (%), Perdas por Percolação - Pp (%) e Perdas por Escoamento Superficial - Pe (%) para Vazões de 0,60, 0,80 e 1,00 l/s em Condições dos Escoamentos Contínuo, Contínuo com Redução de Vazão Inicial e Intermitente, em Três Irrigações Consecutivas.

Irri- gação	Vazão (l/s)	Escoamento Contínuo			Esc.Contínuo c/Red. Vazão Inicial			Esc.Intermitente TC = 60 min		
		Ea	Pp	Pe	Ea	Pp	Pe	Ea	Pp	Pe
1	0,60	82	5	13	*	*	*	42	14	44
	0,80	52	25	23	71	0	29	36	20	44
	1,00	75	17	8	71	1	28	31	21	48
2	0,60	57	0	43	*	*	*	46	10	44
	0,80	84	3	13	77	0	23	45	24	31
	1,00	53	0	47	83	1	16	56	0	44
3	0,60	**	**	**	*	*	*	**	**	**
	0,80	44	27	29	45	26	29	36	6	58
	1,00	30	19	51	55	0	45	30	4	66

* : Tratamento perdido.

** : Testes não executados por problemas no bombeamento.

escoamento superficial, que determinou as baixas eficiências de aplicação observadas neste regime de fluxo (Quadro 8). Isto sugere um redimensionamento da irrigação intermitente visando reduzir estas perdas, através do ajuste dos tempos cíclicos principalmente, para obter vazões reduzidas segundo as necessidades, conforme indica STRINGHAM (1988).

Durante a segunda irrigação as eficiências de aplicação obtidas foram maiores no fluxo contínuo e contínuo com redução da vazão inicial em relação ao intermitente. Todavia, as diferenças com este último se apresentaram mais reduzidas. A melhor eficiência de aplicação corresponde a vazão de 0,8 l/s, com 84 % . Em geral, as maiores perdas por escoamento superficial ocorreram no fluxo intermitente e no contínuo, vazão de 1,0 l/s. Observa-se uma tendência para melhoria da eficiência de aplicação quando muda-se de fluxo contínuo para contínuo com redução da vazão inicial, tendência esta que fica confirmada na terceira irrigação (Quadro 9).

A partir da segunda irrigação, as eficiências obtidas pelos fluxos contínuo e intermitente são similares para a vazão de 1,0 l/s, indicando que, a partir do momento que se igualam as condições de avanço, esta vazão será pouco afetada pelo regime de fluxo. Todavia, quando se aplica redução na fase pós-avanço, haverá melhorias na eficiência de aplicação (Quadro 9).

QUADRO 10 - Eficiência de Aplicação - Ea (%), Eficiência de Armazenamento - Es (%) e Uniformidade de Distribuição - Ud (%) para as vazões de 0,60, 0,80 e 1,00 l/s em Condições de Escoamentos Contínuo, Escoamento Contínuo com Redução de Vazão Inicial e Escoamento Intermitente para Três Irrigações Consecutivas.

Irrigação	Vazão (l/s)	Escoamento Contínuo			Esc. Contínuo c/Red. Vazão Inicial			Esc. Intermitente TC = 60 min		
		Ea	Es	Ud	Ea	Es	Ud	Ea	Es	Ud
1	0,60	82	96	94	*	*	*	42	87	75
	0,80	52	100	96	71	91	97	36	91	77
	1,00	75	100	95	71	93	97	31	94	78
2	0,60	57	59	97	*	*	*	46	96	91
	0,80	84	93	94	77	68	97	45	99	87
	1,00	53	66	99	83	95	97	56	90	99
3	0,60	**	**	**	*	*	*	**	**	**
	0,80	44	100	96	45	100	97	36	97	95
	1,00	30	100	98	55	86	97	30	100	99

* : Tratamento perdido.

** : Testes não executados por problemas no bombeamento.

4.7.2. Eficiência de Aplicação (Ea), Eficiência de Armazenamento (Es) e Uniformidade de Distribuição (Ud)

A eficiência de armazenamento e uniformidade de distribuição encontram-se no Quadro 10. Os maiores valores de uniformidade de distribuição foram observados no fluxo contínuo e contínuo com redução da vazão inicial, indicando menores diferenças entre lâminas infiltradas no início e no final do sulco.

Em geral, no fluxo intermitente, observa-se uma diminuição da eficiência de aplicação e uma melhoria na uniformidade de distribuição, com o aumento de vazão (Quadro 10). A melhoria na uniformidade de distribuição deve-se à redução das diferenças na lâmina infiltrada entre o início e o final do sulco, que por sua vez são devidas à redução da velocidade de infiltração e aumento de velocidade de avanço a partir do segundo pulso.

No fluxo contínuo, observa-se uma tendência similar, com respeito a vazão, todavia menos definida. No fluxo com redução da vazão inicial a relação é direta se compararmos eficiência de aplicação. Esta eficiência aumenta com aumento da vazão, o que demonstra o efeito da redução da vazão aplicada, na fase pós-avanço, principalmente na vazão de 1,0 l/s. A uniformidade de distribuição, no fluxo contínuo com redução da vazão inicial, mostrou-se constante e elevada para todas as vazões, nas irrigações realizadas.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e nas condições vigentes no presente estudo, concluiu-se que:

O escoamento intermitente não propiciou redução do tempo de avanço para nenhuma das vazões testadas, possivelmente devido à variabilidade encontrada nos sulcos de irrigação.

Os volumes de água aplicados para completar fase de avanço, particularmente durante a primeira irrigação, foram maiores no escoamento intermitente.

Houve redução tanto dos tempos de avanço como dos volumes de água necessários para completar o avanço da primeira irrigação em relação as irrigações subsequentes.

Houve redução no valor das lâminas infiltradas do primeiro pulso para os pulsos subsequentes na irrigação intermitente; e da primeira irrigação para as seguintes, na irrigação contínua.

A vazão que propiciou melhor desempenho na primeira

irrigação foi 0,6 l/s, no escoamento contínuo.

Com o aumento da vazão a eficiência de aplicação diminuiu e a uniformidade de distribuição aumentou.

As maiores perdas nos diferentes regimes de fluxo foram por escoamento superficial.

A redução de vazão inicial propiciou melhorias no desempenho da irrigação, principalmente para a vazão de 1,0 l/s.

Devido a intermitência ser uma técnica nova na irrigação por sulcos e considerada importante nos meios técnicos estrangeiros e face aos poucos estudos realizados nas condições brasileiras, sugere-se a realização de mais pesquisas visando o desenvolvimento ou adaptação de métodos de determinação da infiltração sob condição de escoamento intermitente, bem como estudos das fases de avanço e pós-avanço em sulcos envolvendo tempos cíclicos e taxas cíclicas.

6. RESUMO

Este estudo foi conduzido na fazenda Palmital de FAEPE, localizada em Ijaci, M.G., no período compreendido entre 27 de março e 29 de julho de 1992.

Foram testados três tipos de regimes de fluxo: contínuo, contínuo com redução da vazão inicial e intermitente e três vazões: 0,60, 0,80 e 1,0 l/s, em três irrigações consecutivas. No fluxo intermitente foi usado um tempo cíclico de 60 minutos e taxa cíclica de 0,5. Na irrigação com redução da vazão inicial foi utilizada uma redução equivalente à vazão infiltrada após 10 minutos de completar a fase de avanço. Trabalhou-se com sulcos de 90 m de extensão, espaçados de um metro e declividade de 0,0093 m/m.

Durante as irrigações processadas foram medidos tempos de avanço, e largura de espelho d'água a intervalos pré-estabelecidos de 10 m. A partir destes dados, foram ajustadas equações de avanço e infiltração pela aplicação do modelo do balanço volumétrico.

Cada irrigação foi avaliada, ajustando-se o perfil da

lâmina infiltrada em cada tratamento a um modelo potencial e, posteriormente, determinando-se a eficiência de aplicação, perdas por percolação e por escoamento superficial, eficiência de armazenamento e uniformidade de distribuição.

Nas condições deste estudo, concluiu-se que o fluxo intermitente não propiciou redução do tempo de avanço para nenhuma das vazões testadas. Os volumes de água necessários para completar fase de avanço, foram maiores no escoamento intermitente. Em geral, houve redução dos tempos de avanço e dos volumes de água necessários para completar o avanço da primeira para as irrigações subsequentes.

Houve redução no valor das lâminas infiltradas do primeiro pulso para os pulsos subsequentes na irrigação intermitente; e da primeira irrigação para as seguintes, na irrigação contínua.

O melhor desempenho durante a primeira irrigação, considerada a mais crítica, foi da vazão 0,6 l/s, no escoamento contínuo. Com o aumento da vazão, durante as irrigações, a eficiência de aplicação diminuiu e a uniformidade de distribuição aumentou.

As maiores perdas ocorridas foram por escoamento superficial. A redução de vazão inicial propiciou melhorias no desempenho da irrigação, principalmente para a vazão de 1,0 l/s.

7. SUMMARY

This experiment was conducted at Palmital Farm of FAEPE, located at Ijací, M.G., during March, 27 through July, 29, 1992.

Three types of flow regimes were tested in furrow irrigation, namely continuous, cutback regime and surge flow using three flow rates of 0,60 ,0,80 and 1,0 l/s, by irrigating three times consecutively. Surge flow was with 60 minutes cycle time and 0.5 cycle ratio. In the cutback regime, a reduction of flow rate proportional to infiltration rate was applied 10 minutes after reaching the end of furrow. Furrows were 90 m long separated by 1 m distance with a slope of 0,0093 m/m.

During irrigations were measured advance time and top width of the furrow by a predetermined space interval of 10 m. Later equations of advance rate and cumulative infiltration were adjusted by a volume balance model.

Each irrigation was evaluated, adjusting the profile of the depth of water infiltrated in each treatment by means of a power model, and thereafter by determination of application efficiency, percolation and run-off losses, stored water

efficiency and distribution uniformity.

It was concluded that surge flow took more time to complete the advance phase than continuous and cutback regimes for all the flow rates tested. Volumes of water to complete the advance distance were greater in surge flow than in continuous and cutback regimes. Elapsed time for advance was reduced from first to subsequent irrigations. Depth of water infiltrated along the furrows was diminished pulse by pulse in surge flow and step by step from beginning to end of irrigations in continuous regime. Better performance in the first irrigation, considered the most critical one, was reached by continuous flow regime with flow rate of 0,6 l/s. Greater flow rates caused a reduction of application efficiency and increased distribution uniformity. Greater losses were by run-off. Cutback flow regime increased irrigation performance especially at the flow rate of 1,0 l/s.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AZEVEDO, M.A.S.B. de. Estudo das Características de Avanço e Infiltração da Água em Sulcos, Num Solo Aluvial Eutrófico, para os Escoamentos Contínuo e Intermitente. Viçosa, UFV, 1989. 105 p. (Tese MS).
2. ----- ; SOARES, A.A.; COUTO, L.& BERNARDO, S. Características de avanço e infiltração de água em sulcos para os escoamentos contínuos e intermitente. ITEM, Brasília, 40:26-31, 1990.
3. BERNARDO, S. Manual de Irrigação. 5.ed. Viçosa, Imprensa Universitária, 1989. 596p.
4. BISHOP, A.A.; WALKER, W.R. ; ALLEN, N.L. & POOLE, G.F. Furrow advance rates under surge flow systems . Journal of the Irrigation and Drainage Division, 107 (IR3):257-64, 1981.
5. BOOHER, L.J. El riego superficial . Roma , FAO , 1974. 162 p. (FAO: Cuadernos de fomento agropecuário, 95).
6. CARVALHO, N. Irrigação no Brasil. ITEM, Brasília ,17:23 - 7, 1984.
7. CARVALLO G., H.O. & SOARES, J.M. Eficiência de irrigação por sulcos ao nível de parcela no sistema irrigado de Bebedouro. Petrolina, PE, EMBRAPA-CPATSA, 1988. 33 p. (Circular técnica, 18).

8. CASTRO NETO, P. & SILVEIRA, J.V. Precipitação provável para Lavras, região sul de Minas Gerais, baseada na função de probabilidade Gama.1. Períodos Mensais. Ciência e Prática, Lavras, 5(2):144-51, 1981.
9. COMISSAO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais; 4a aproximação. Lavras, 1989. 176 p.
10. COOLIDGE, P.S.; WALKER, W.R. & BISHOP, A.A. Advance and run-off surge flow furrow irrigation. Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, 108(IR1):35-42, 1982.
11. CRIDDLE, W.S.; DAVIS, S.; PAIR, C.H. & SCHOCKLEY, D.G. Methods for evaluating irrigation systems. Washington, USDA, 1956. 24 p. (Handbook, 82).
12. CURI, N.; RESENDE, M. & SANTANA, D.P. Terras para Irrigação. Brasília, ABEAS, 1990. 107 p.
13. DAVIS, J.R. Estimating rates of advance for irrigation furrows. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 4:52-7, 1961.
14. _____ & FRY, A.W. Measurement of infiltration rates in irrigated furrows. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 6 (4): 318-9, 1963.
15. FERNANDEZ, P.C.; LUQUE, J.A. & PAOLONI, J.D. Análisis de la infiltración y su aplicación para diseños de riegos en el valle inferior del río Colorado. Revista de Investigaciones Agropecuarias, Buenos Aires, 8 (1):1-29, 1971.
16. FISCHBACH, P.E. & SOMERHALDER, B.R. Efficiencies of an automated surface irrigation system with and without a run-off re-use system. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 14 (4):717-8, 1971.

17. FOK, Y.S. & BISHOP, A.A. Expressing irrigation efficiencies in terms of application time, intake and water advance constants. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 12 (4): 438-42, 1969.
18. GOLDHAMER, D. A.; ALEMI, M. H. & PHENE, R. G. Surge vs. Continuous flow irrigation. California Agriculture, 41 (9/10):29-32. 1987.
19. GRASSI, C. J. Diseño y operación del riego por superficie. Mérida, Venezuela, CIDIAT, 1988. 415p (Série RD, 36).
20. _____ ; FERNANDEZ, P.C. & PONCE, I. Velocidad de avance del frente de agua en los surcos de riego. Revista de Inves - gaciones Agropecuarias, Buenos Aires, 2 (2):11-34, 1965.
21. HART, W.E.; PERI, G. & SKOGERBOE, G.V. Irrigation performance: an evaluation. Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, 105(1R3):275-88, 1979.
22. HILLEL, D. Solo e água: Fenômenos e princípios físicos. Porto Alegre, UFRGS, 1970. 231 p.
23. IZUNO, F. T.; PODMORE, T.H. & DUKE, H. R. Infiltration under surge irrigation. TRANSACTIONS of the ASAE, St. Joseph, 28:517-21, 1985.
24. JAMES, L.G. Principles of farm irrigation system design. New York, John Wiley & Son, 1988. 543 p.
25. LOSADA, V.A. Riego por gravedad. Brasília, PRONI/UnB, 1987. 70 p.
26. MANUAL de irrigação. São Paulo, Abril, 1991. 170 p.

27. MERRIAM, J.L. & KELLER, J. Farm irrigation system evaluation: a guide for management. Logan, Utah, Utah State University, 1978. 271 p.
28. NORUM, D.I.; PERI, G. & HART, W.E. Application of system optimal depth concept. Journal of the Irrigation and Drainage Division, 105(1R4): 357-366. 1979.
29. OLITTA, A.F.L. Os métodos de irrigação. São Paulo, Nobel, 1977. 267 p.
30. PARR, J.F. & BERTRAND, A.R. Water infiltration into soils. Advances in Agronomy, Madison, 12: 311 - 63, 1960.
31. PEREIRA, G.M. Estudo das características de avanço e infiltração da água em sulcos, em um Latossolo Vermelho-Escuro Álico, com aplicação de água contínua e intermitente. Viçosa, UFV, 1991. 84 p. (Tese MS).
32. PINTO, D.S. Efeito da vazão e da declividade sobre as perdas de água e sobre a eficiência de aplicação na irrigação por sulcos. Viçosa, Imprensa Universitária, 1980. 73 p. (Tese MS).
33. QUEIROZ FILHO, S.C. de & MILLAR, A.A. Parâmetros para irrigação dos Vertissolos do Sub-Médio São Francisco. Petrolina, PE, SUDENE/IIICA, 1975. 14 p.
34. REICHARDT, K. Processos de transferência no sistema solo - planta - atmosfera. São Paulo, Cargill, 1985. 445 p.
35. REZENDE, F. da G. & SCALOPPI, E.J. Avaliação de métodos para determinação das características de infiltração em sulcos. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, 20(2):227-33, 1985.

36. SAMANI, Z.A.; WALKER, W.R. & WILLARDSON, L.S. Infiltration under surge flow irrigation. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 28 (5):1539 - 542, 1985.
37. SCALOPPI, E.J. A method for evaluating infiltration parameters in surface irrigation. In: Congress on Irrigation and Drainage 12, Fort Collins, 1984. Proceeding... New Delhi International Commission on Irrigation and Drainage, 1984. p. 369-78.
38. ----- . Modelos matemáticos para simulação da irrigação superficial. Botucatu, UNESP, 1983. 151 p. (Tese Livre Docência).
39. SIMAS, J. de R. Irrigação no Brasil. Programa Nacional de Irrigação PRONI 1. Lavoura Arrozeira, Porto Alegre, 41(378):1-XXIV, 1988.
40. SOUZA, F. de & AUGUSTO, S.,G. Aplicação da técnica do SCS para projeto e manejo da irrigação por sulcos abertos e em declive, com e sem redução da vazão. ITEM, Brasília, 17:9-14, 1984.
41. STRINGHAM, G.E., ed. Surge flow irrigation. Final Report of the Western Regional Research Project W-163. Logan, Utah, Utah State University, Utah. Agric. Exper. Sta., 1988. 92 p.
42. TESTEZLAF, R. Fluxo intermitente : uma nova idéia em irrigação superficial. ITEM, Brasília, 24 :2 - 3, 1986.
43. VIEIRA, J. Irrigação de superfície. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 9(100):13 - 23, 1983.
44. VILELA, E. de A. & RAMALHO, M.A.P. Análise das temperaturas e precipitações pluviométricas de Lavras, Minas Gerais. Ciência e Prática, Lavras, 3(1):71-9, 1979.

45. WALKER, W.R. & SKOGERBOE, G.V. Surface Irrigation. Theory and practice. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall Inc. 1987. 385 p.

APÉNDICE

APÊNDICE A

QUADRO 1A - Teores de umidade (% base peso) para potenciais matriciais de 2 a 1500 KPa e para as camadas de 0 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm.

Potencial matricial (KPa)	Umidade (% peso)		
	0 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
2	42,04	43,41	44,09
4	36,20	35,86	40,56
6	32,95	33,74	36,84
10	30,60	30,95	33,74
33	20,77	20,70	23,17
100	18,33	18,84	21,12
500	15,50	15,54	19,56
1500	14,56	14,16	17,61

APÊNDICE B

QUADRO 1B - Características Químicas do Solo, para Três Camadas.

Camada (cm)	pH	Al (meq /100 cm ³)	Ca	Mg	K (ppm)	P	M.O. (%)	Saturação de Al (%)
0 - 20	6,3	0,1	4,9	0,8	87	4,3	2,4	1,7
20 - 40	6,4	0,1	4,1	0,7	53	3,3	2,0	2,0
40 - 60	6,4	0,1	0,1	0,5	35	1,3	0,9	2,7

APÊNDICE C

QUADRO 1C - Parâmetros das Equações de Infiltração e Avanço, para Três Irrigações Consecutivas, no Escoamento Contínuo, para as Vazões de 0,60 , 0,80 e 1,00 l/s.

Irrigação		Vazão (l/s)		
		0,60	0,80	1,00
1	K	0,037209	0,095116	0,042131
	a	0,5325	0,3930	0,5670
	f	7,0969	4,2650	10,3119
	h	0,5844	0,6890	0,5839
2	K	0,028258	0,025853	0,074589
	a	0,4100	0,5965	0,2045
	f	7,2525	8,6859	5,9235
	h	0,7618	0,6804	0,8834
3	K	-----	0,054330	0,048109
	a	-----	0,4490	0,4485
	f	-----	6,6192	8,0812
	h	-----	0,6855	0,7388

QUADRO 2C - Parâmetros das Equações de Infiltração e Avanço, para Três Irrigações Consecutivas, no Escoamento Contínuo com Redução da Vazão Inicial, para as Vazões de 0,80 e 1,00 l/s.

Irrigação	Vazão (l/s)		
	0,80	1,00	
1	K	0,145020	0,078719
	a	0,2215	0,3375
	f	3,1442	5,7662
	h	0,8038	0,7661
2	K	0,066293	0,026178
	a	0,2700	0,5830
	f	5,8943	7,1481
	h	0,8005	0,8642
3	K	0,05187	0,04967
	a	0,4320	0,3585
	f	7,5388	10,5105
	h	0,6832	0,6825

QUADRO 3C - Parâmetros das Equações de Infiltração e Avanço, para Duas Irrigações Consecutivas, no Escoamento Intermitente, para a Vazão de 0,60 l/s.

Irrigação	Pulso	K	a	f	h
1	1	0,043204	0,6245	7,4395	0,4669
	2	0,012138	0,7965	14,1555	0,4650
	3	0,010500	0,7345	14,6121	0,5458
	4	0,009498	0,6840	14,5091	0,6147
	5	0,015120	0,5125	12,3327	0,6654
2	1	0,03298	0,4210	8,4411	0,6475
	2	0,01675	0,4340	11,1889	0,6978
	3	0,01646	0,4390	11,2923	0,6951
	4	0,01726	0,3205	10,7992	0,7534

QUADRO 4C - Parâmetros das Equações de Infiltração e Avanço, para Três Irrigações Consecutivas, no Escoamento Intermitente, para a Vazão de 0,80 l/s.

Irrigação	Pulso	K	a	f	h
1	1	0,17019	0,2530	3,1190	0,7374
	2	0,01995	0,6675	13,5132	0,5149
	3	0,01230	0,7755	14,0988	0,5688
	4	0,01248	0,6360	14,1182	0,6445
	5	0,01181	0,5460	13,6022	0,7172
2	1	0,04240	0,4935	11,0684	0,5475
	2	0,03982	0,4172	11,4770	0,6777
	3	0,03000	0,2675	12,8160	0,7309
3	1	0,083437	0,1705	5,7905	0,8165
	2	0,037113	0,1595	10,6813	0,8185
	3	0,035446	0,0620	10,3785	0,8829
	4	0,028108	0,1180	12,4147	0,8556

QUADRO 5C - Parâmetros das Equações de Infiltração e Avanço, para Três Irrigações Consecutivas, no Escoamento Intermitente, para a Vazão de 1,0 l/s.

Irrigação	Pulso	K	a	f	h
1	1	0,116473	0,4025	5,7318	0,6024
	2	0,036489	0,4985	12,5466	0,5893
	3	0,025127	0,4510	14,2341	0,6750
	4	0,017950	0,4205	14,5911	0,7723
2	1	0,051710	0,3290	8,7237	0,7459
	2	0,023231	0,3015	12,6943	0,8377
3	1	0,058154	0,3150	9,1324	0,7396
	2	0,018264	0,1965	15,9771	0,8710
	3	0,024586	0,0850	13,5625	0,9083
	4	0,019367	0,2435	15,7539	0,8667

APÊNDICE D

Quadro 1D - Parâmetros das Equações de Distribuição de Lâminas Infiltradas Ajustadas pelo Modelo Potencial, para Três Irrigações Consecutivas, no Escoamento Contínuo, Contínuo com Redução da Vazão Inicial e Intermitente, para as Vazões de 0,6, 0,8 e 1,0 l/s.

Irrigação	Vazão (l/s)		Esc. Contínuo	Esc. Contínuo c/red.vazão inicial	Esc. Intermitente
1	0,60	f	1,135410	-----	1,769541
		g	-0,395163	-----	-1,459571
		b	1,918281	-----	0,896677
	0,80	f	1,106177	1,075071	1,635650
		g	-0,277032	-0,187478	-1,386709
		b	1,609153	1,497342	1,181560
	1,0	f	1,127817	1,072180	1,597660
		g	-0,376272	-0,199793	-1,295964
		b	1,943834	1,490898	1,168395
2	0,60	f	1,084210	-----	1,206462
		g	-0,203995	-----	-0,646229
		b	1,422464	-----	2,130014
	0,80	f	1,152743	1,096979	1,272722
		g	-0,402939	-0,246423	-0,727660
		b	1,638019	1,540993	1,668135
	1,0	f	1,028720	1,081615	1,028948
		g	-0,066082	-0,184292	-0,092782
		b	1,300891	1,258060	2,205126
3	0,80	f	1,120874	1,081074	1,083651
		g	-0,301088	-0,197086	-0,550536
		b	1,490924	1,430940	5,581344
	1,0	f	1,060832	1,088158	1,035216
		g	-0,139847	-0,214819	-0,101140
		b	1,298905	1,436750	1,871990

APÊNDICE E

Programa Para Cálculo da Equação de Infiltração pelo Método do Balanço Volumétrico.

```

10 REM -----
20 REM :   PROGRAMA PARA CALCULO DA EQUACAO DE INFILTRACAO   |
30 REM :   METODO DO BALANCO VOLUMETRICO                     |
40 REM :   |
50 REM -----
110 DIM NV(30),BP(30),V(30,30),YC(30),BMC(30),YP(30,30),XX(30)
120 DIM XA(30),YA(30),XXYY(30),XX2(30),Y1(30),X1(30),BME(30)
124 DIM YM(30),AYM(30),VY(30),VT(30),VZ(30),YY(30),D(100),E(100)
130 A$=" "
140 CLS
150 PRINT"-----"
160 PRINT"   PROGRAMA PARA CALCULO DA EQUACAO DE INFILTRACAO"
170 PRINT
190 PRINT
200 PRINT"   METODO DO BALANCO VOLUMETRICO"
210 PRINT"-----"
220 PRINT:PRINT:PRINT
230 SCREEN 2
240 PRINT
250 PRINT"   ESCOLHA A ALTERNATIVA"
260 PRINT"   (1) ENTRADA VIA TECLADO"
270 PRINT
280 PRINT"   (2) ENTRADA VIA ARQUIVO"
290 PRINT
300 PRINT"   (3) ENCERRA O PROGRAMA"
310 PRINT
320 PRINT:PRINT:PRINT
330 INPUT"   TECLE SEU NUMERO";P
340 ON P GOTO 380,345,2050
345 GOSUB 2820
350 CLS
370 GOTO 800
380 CLS
390 PRINT:PRINT
400 PRINT"   ENTRADA DE DADOS"
410 PRINT"-----"
420 PRINT:PRINT:PRINT
460 PRINT"   ENTRE COM NUMERO DE ESTAGOS"
470 INPUT"   (CONSIDERE O INICIO DO SULCO)";NL
480 PRINT
490 NC=NL+2
500 PRINT
510 INPUT"   ENTRE COM A VAZAO APLICADA (dm3/min)";Q
520 CLS
530 PRINT"   Obs.: A primeira posicao se refere a linha, a"

```

```

540 PRINT"                segunda a coluna.A sequencia de entrada de "
550 PRINT"                dados e a seguinte:"
555 PRINT"                T ( minutos - acumulados)"
560 PRINT"                S (distancias em metros - acumuladas)"
570 PRINT"                B (larguras da lamina - centimetros)"

580 FOR I=1 TO NL
590 LOCATE 16,1:PRINT"NUMERO DE VALORES DIFERENTES DE 0 NA LINHA";
    I;"
600 LOCATE 16,48:INPUT NV(I)
610 LOCATE 16,48:PRINT A$
620 NEXT I
630 FOR I=1 TO NL
640 FOR J=1 TO NV(I)
650 LOCATE 20,1:PRINT"ENTRE COM OS VALORES POSICAO (";I;J;")";
    "
660 LOCATE 20,42:INPUT V(I,J)
670 LOCATE 20,42:PRINT A$
680 NEXT J:NEXT I
690 CLS
700 PRINT
710 PRINT
720 INPUT"INDIQUE FATOR C DA EQUACAO DE FORMA";C
730 INPUT"INDIQUE EXPOENTE m DA EQUACAO DE FORMA";M
860 PRINT
870 REM CALCULO DO Y A PARTIR DE B (EQ DE FORMA DO SULCO)
880 PRINT
890 FOR I=1 TO NL
900 FOR J=3 TO NV(I)
910 YP(I,J)=(V(I,J)/C)^(1/M)
920 NEXT J:NEXT I
930 PRINT
940 REM CALCULO DO FATOR DE FORMA DA LAMINA
950 RY=1/(.25*(M+1)+1)
960 REM CALCULO DO Y MEDIO CORRIGIDO
970 FOR I=1 TO NL
980 IF I=1 THEN YC(1)=YP(1,3)*RY:GOTO 1070
990 IF I=2 THEN YC(2)=(YP(2,3)+ YP(2,4)+(2*YP(2,4)*RY))/(2*I);
    GOTO 1070
995 JH =NV(I)
1000 JK=NV(I)-1
1010 SOMA=0
1020 FOR J=4 TO JK
1030 SOMA=SOMA+YP(I,J)
1040 NEXT J
1050 SMAT=2*SOMA
1060 YC(I)=(YP(I,3)+YP(I,JH)+2*YP(I,JH)*RY+SMAT)/(2*I)
1070 NEXT I
1080 REM CALCULO DO B MEDIO CORRIGIDO
1090 FOR I=1 TO NL
1100 BMC(I)=C*YC(I)^M
1110 NEXT I
1120 REM CALCULO DA EQUACAO PARA AJUSTE DE B MEDIO CORRIGIDO
1130 FOR I=1 TO NL
1140 XA(I)=V(I,2)

```

```

1150 YA(I)=BMC(I)
1160 NEXT I
1170 NN=NL
1180 GOSUB 2090
1190 CE=A:N=BB
1200 REM CALCULO DE B MEDIO CORRIGIDO E AJUSTADO
1210 FOR I=1 TO NL
1220 BME(I)=CE*V(I,2)^N
1230 NEXT I
1250 REM CALCULO DA LAMINA MEDIA
1260 FOR I=1 TO NL
1270 YM(I)=(BME(I)/C)^(1/M)
1280 NEXT I
1290 REM CALCULO DA AREA MEDIA INFILTRADA (Ay)
1300 FOR I=1 TO NL
1310 AYM(I)=BME(I)*(YM(I)/(M+1))
1320 NEXT I
1330 REM CALCULO DO VOLUME SUPERFICIAL (Vy)
1340 FOR I=1 TO NL
1350 VY(I)=(AYM(I)*(V(I,2)*100))/1000
1360 NEXT I
1370 REM CALCULO DO VOLUME TOTAL APLICADO (Vt)
1380 FOR I=1 TO NL
1390 VT(I)=V(I,1)*Q
1400 NEXT I
1410 REM CALCULO DO VOLUME INFILTRADO (Vz)
1420 FOR I=1 TO NL
1430 VZ(I)=VT(I)-VY(I)
1440 NEXT I
1450 CLS
1460 PRINT:PRINT
1470 PRINT"DADOS OBSERVADOS E CALCULADOS EM TESTE DE INFILTRACAO"
1480 LOCATE 6,2:PRINT"-----"
1490 LOCATE 8,2:PRINT" T          S      Bmp      Ym          AYM          VY          Vt          Vz
          (min)   (m)      (cm) (cm)      (dm )      (dm ) (dm ) (dm )
          2          3          3          3
1500 PRINT"-----"
1510 X=11
1520 FOR I=1 TO NL
1530 X=X+1
1540 LOCATE X,2:PRINT USING"###.##";V(I,1)
1550 LOCATE X,11:PRINT USING"#####";V(I,2)
1560 LOCATE X,19:PRINT USING"###.##";BME(I)
1570 LOCATE X,28:PRINT USING"###.##";YM(I)
1580 LOCATE X,38:PRINT USING"###.##";AYM(I)
1590 LOCATE X,48:PRINT USING"#####.##";VY(I)
1600 LOCATE X,58:PRINT USING"#####.##";VT(I)
1610 LOCATE X,68:PRINT USING"#####.##";VZ(I)
1620 NEXT I
1630 PRINT"-----"
1640 REM CALCULO DA EQUACAO VZ=G*T^(H+A)
1650 NN=NL
1660 FOR I=1 TO NL
1670 XA(I)=V(I,1)
1680 YA(I)=VZ(I)
1690 NEXT I

```

```

1700 GOSUB 2090
1710 C1=A
1720 HA=BB
1730 REM EQUACAO DE AVANCO (S=F*T^H)
1740 INPUT"INDIQUE FATOR F EQUACAO DE AVANCO (dm)" ;F
1750 INPUT"INDIQUE EXPOENTE h DA EQUACAO DE AVANCO";H
1760 H1 = H
1770 EF = F
1810 A1=HA-H1
1820 REM CALCULO DO FATOR DE FORMA (RZ)
1830 G=H1:GOSUB 2760:GH=GY
1840 G=A1:GOSUB 2760:GA=GY
1850 G=HA-1:GOSUB 2760:GAH=GY
1870 REM DADOS DO PERIMETRO MOLHADO
1875 INPUT"INDIQUE PERIMETRO MOLHADO ,WO,NO INICIO SULCO(CM)";WO
1880 INPUT"INDIQUE PERIMETRO MOLHADO MEDIO,WM,DO SULCO(CM)";WOO
1890 REM CALCULO DA EQUACAO DE KOSTIAKOV
1895 RZ=(WOO/WO)*((GH*GA)/(HA*GAH))
1900 K=C1/((WO/10)*EF*RZ)
1910 CLS
1920 PRINT"COEFICIENTES EMPIRICOS PARA AS EQUACOES DE AVANCO E
INFILTRACAO"
1930 LOCATE 4,50:PRINT USING"###.###";K
1940 LOCATE 4,22:PRINT"K DA EQUACAO DE INFILTRACAO ="
1950 LOCATE 6,50:PRINT USING"###.###";A1
1960 LOCATE 6,22:PRINT"a DA EQUACAO DE INFILTRACAO ="
1970 LOCATE 8,50:PRINT USING"###.###";EF
1980 PRINT
1990 LOCATE 8,22:PRINT"f DA EQUACAO DE AVANCO ="
2000 LOCATE 10,50:PRINT USING"###.###";H1
2010 LOCATE 10,22:PRINT"h DA EQUACAO DE AVANCO ="
2020 LOCATE 18,6:PRINT"EQUACAO DE AVANCO - S = f*T^h
S =(dm) T =(min)"
2030 LOCATE 20,6:PRINT"EQUACAO DE INFILTRACAO - z = K*T^a
z =(dm) T =(min)"
2040 END
2050 CLS:END
2060 REM -----
2070 REM SUBROTINA PARA REGRESSAO LINEAR
2080 REM -----
2090 FOR I=1 TO NN
2100 XX(I)=LOG(XA(I))
2110 NEXT I
2120 FOR I=1 TO NN
2130 YY(I)=LOG(YA(I))
2140 NEXT I
2150 FOR I=1 TO NN
2160 XXYY(I)=XX(I)*YY(I)
2170 NEXT I
2180 FOR I=1 TO NN
2190 XX2(I)=XX(I)^2
2200 NEXT I
2210 SXX=0
2220 FOR I=1 TO NN
2230 SXX=SXX+XX(I)

```

```

2240 NEXT I
2250 SYX=0
2260 FOR I=1 TO NN
2270 SYX=SYX+YX(I)
2280 NEXT I
2290 SXY=0
2300 FOR I=1 TO NN
2310 SXY=SXY+XXYY(I)
2320 NEXT I
2330 SX2=0
2340 FOR I=1 TO NN
2350 SX2=SX2+XX2(I)
2360 NEXT I
2370 MX=SXX/NN
2380 MY=SYX/NN
2390 NUM=SXY-((SXX*SYX)/NN)
2400 DEN=SX2-((SXX^2)/NN)
2410 BB=NUM/DEN
2420 AA=MY-BB*MX
2430 A=EXP(AA)
2440 RETURN
2730 REM -----
2740 REM SUBROTINA PARA FATOR GAMMA
2750 REM -----
2760 GY=1-(.5771*G)+( .985854*G^2)-( .876422*G^3)+( .832821*G^4)
      -( .568473*G^5)+( .25482*G^6)-( .051499*G^7)
2770 RETURN
2780 PRINT:PRINT"PRINT:PRINT
2790 REM -----
2800 REM SUBROTINA PARA USO DE ARQUIVO PARA ENTRADA DE DADOS
2810 REM -----
2820 CLS
2830 INPUT" NOME DO ARQUIVO":C$
2840 OPEN C$ FOR INPUT AS #1
2850 INPUT #1,NP,NL,NG,Q
2860 FOR I=1 TO NL
2870 INPUT #1,NV(I):NEXT I
2880 FOR I=1 TO NL:FOR J=1 TO NV(I)
2890 INPUT #1,V(I,J):NEXT J:NEXT I
2900 FOR I=1 TO NP
2910 INPUT #1,Y1(I),X1(I):NEXT I
2920 CLOSE #1
2930 RETURN

```