

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO DE
ÁGUA EM SULCOS NOS PERÍMETROS IRRI
GADOS DO ESTADO DA PARAÍBA

p o r

FRANCISCO DAS CHAGAS NOGUEIRA

CAMPINA GRANDE, PARAÍBA

JUNHO - 1976



N778d

Nogueira, Francisco das Chagas.

Determinação da eficiência de aplicação de água em sulcos nos perímetros irrigados do Estado da Paraíba / Francisco das Chagas Nogueira. - Campina Grande, 1976. 79 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1976.

"Orientação : Prof. Dr. Hugo Orlando Carvalho Guerra, Prof. M.Sc. Hamilton Medeiros de Azevedo".

Referências.

1. Irrigação. 2. Perímetro Irrigado - Paraíba. 3. Irrigação por Sulcos. 4. Dissertação - Ciências. I. Guerra, Hugo Orlando Carvalho. II. Azevedo, Hamilton Medeiros de. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título

CDU 626.81(043)

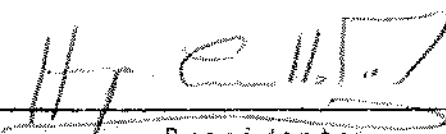
DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO DE
ÁGUA EM SULCOS NOS PERÍMETROS IRRIGADOS DO ESTADO DA PARAÍBA

FRANCISCO DAS CHAGAS NOGUEIRA
- Engenheiro Agrônomo -

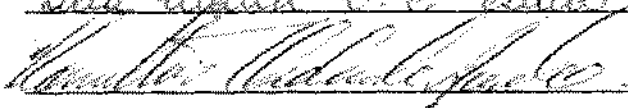
TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DO CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (M.Sc.)

Aprovada por:

COMISSÃO



Presidente

uma via para o. c. estat.


CAMPINA GRANDE
ESTADO DA PARAÍBA - BRASIL
JUNHO - 1976

À minha esposa e filha

A G R A D E C I M E N T O S

O autor agradece:

De modo especial ao Dr. Hugo O. Carvallo Guerra e ao M.Sc. Hamilton Medeiros de Azevedo do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, por suas valiosas ajudas na planificação, orientação, desenvolvimento, redação e correção da tese.

A Escola Superior de Agricultura de Mossoró, que lhe concedeu esta oportunidade.

Ao Banco do Nordeste do Brasil S.A., pela preciosa ajuda no custeio dos trabalhos para elaboração da tese.

Ao Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS, nas pessoas dos Senhores Gerentes dos Perímetros Irrigados de Engenheiro Arcoverde, São Gonçalo, Sumé e do Diretor do Departamento de Águas e Solos com sede em Campina Grande, por terem colocado à sua disposição áreas para realização dos testes necessários e laboratórios.

Aos seus professores, colegas de Cursos e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

R E S U M O

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar a eficiência de aplicação de água na irrigação por sulcos, nos Perímetros Irrigados do Estado da Paraíba, administrados pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS).

Os trabalhos foram desenvolvidos nos Perímetros Irrigados Engenheiro Arcoverde, São Gonçalo e Sumé, localizados nos municípios de Condado, Sousa e Sumé, respectivamente.

Para a realização dos testes foram selecionados em cada perímetro três parcelas, localizadas em manchas de solos mais representativos de cada perímetro. Para a seleção destas parcelas, também foi levado em consideração as dimensões das mesmas. A escolha dos sulcos dentro das parcelas foi feita inteiramente ao acaso.

A avaliação da eficiência de aplicação foi de terminada através da razão entre os volumes de água armazenados no solo disponíveis às plantas e os volumes derivados do canal parcelar. Além da avaliação da eficiência de aplicação, de água, na irrigação, para cada parcela, foram determinados as curvas de avanço e as equações de infiltração.

A análise dos resultados, permitiu concluir o seguinte: As eficiências médias de aplicação da água de irrigação, foram de 40,25; 51,10 e 54,96 por cento para os Perímetros Irrigados Engenheiro Arcoverde, São Gonçalo e Sumê, respectivamente. A eficiência média para os três perímetros foi de 48,77 por cento. As eficiências de aplicações encontradas, foram afetadas pela desuniformidade na distribuição das lâminas de água armazenadas no solo. Esta irregularidade foi revelada mediante a determinação dos coeficientes de variação das mesmas. Os valores encontrados foram muito altos e variaram entre 22 e 200 por cento. O fato da desuniformidade nas lâminas de água armazenadas no solo, foi devido a micro-topografia do terreno ser bastante irregular, possivelmente como consequência do abatimento das partes aterradas, resultante de uma inadequada sistematização. Isto foi mostrado através dos coeficientes de variação das declividades médias das parcelas. Estes coeficientes oscilarão entre 47 e 172 por cento. Na grande maioria das parcelas estudadas, as irrigações foram reiniciadas quando o teor de água do solo estava ainda próximo ou mesmo acima da capaci-

dade de campo. Isto contribuiu em muito para diminuir a eficiência de aplicação de água. As vazões de entradas aplicadas, foram bastante diferentes, dentro de um mesmo perímetro. Em alguns casos, estas foram superiores as vazões máximas não erosivas, calculadas teoricamente.

Com a finalidade de racionalizar o manejo da irrigação e aumentar a eficiência de aplicação da água nos Perímetros de Irrigação avaliados, recomenda-se:

- Antes da irrigação, realizar uma adequada sistematização do solo, de tal forma a obter-se sulcos com declividades uniformes com o objetivo de evitar problemas de desuniformidade na distribuição da lâmina de água armazenada no solo.
- Programar adequadamente as irrigações de tal forma que evite excessiva aplicação e consequentes perdas de água.

S U M M A R Y

The objective of the present work was to evaluate the efficiency of water application by furrow irrigation in the Irrigation and Colonization Projects of "Engenheiro Arcoverde", "São Gonçalo" and "Sumê". All of them are located in the State of Paraíba and are supervised by the National Department of Drought Control (DNOCS).

Three plots were selected in each project corresponding to the three most representative soils and roughly of the same size. The selection of the furrows within each plot for the experiment was completely at random. The efficiency of water application was evaluated as the ratio of available water stored in the soil (for plants) and the water applied to each furrow. Along with this evaluation, the water advance and infiltration relationships were determined for each furrow.

Analyses of the results led to the following conclusions: The average efficiency of water application for the Projects of "Engenheiro Arcoverde", "São Gonçalo" and "Sumê" were 40,25; 51,10 e 54,96 % , respectively. The average efficiency for the three Projects was 48,77%. The efficiency of water application as determined were affected by the non-uniformity of the stored-water distribution. This was demonstrated by the coefficient of variation of water distribution which had a range between 22 and

200%. The non-uniformity of the stored irrigation water was caused by the irregularity of the soil surface relief, attributed to an inadequate planing of it. This was demonstrated by the coefficients of variation of the plot slopes which varied between 46 and 172%. Another fact that contributed to the decrease of the water application efficiency was that in most of the studied plots, the irrigation water was applied when the soil water content was close to or above the "field capacity".

Even within the same Projects, the rates of water application were different. Occasionally these were higher than the theoretical non-erosive rates.

To rationalize irrigation management and increase the efficiency of water application by furrows for the studied Projects of Irrigation and Colonization, it is recommended:

- To conduct an adequate leveling of the soil. This process will provide furrows with uniform slopes and an adequate distribution of the stored irrigation water in the soil profile.
- To adopt a suitable irrigation schedule, thus preventing excess of water application and consequent water losses.

I N D I C E

	Página
CAPÍTULO I INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
EFICIÊNCIA DE IRRIGAÇÃO	4
1.0 - EFICIÊNCIA NA CONDUÇÃO DA ÁGUA	6
1.1 - Tipos de Perdas na Condução da Água	6
1.2 - Divisão dos Sistemas de Condução da Água	9
1.3 - Fator de diversidade na Condução	10
2.0 - EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO DE ÁGUA	11
2.1 - Tipos de perdas na aplicação da água	14
2.2 - Fatores que afetam a eficiência de aplicação	15
2.3 - Divisão da eficiência de aplicação	19

	Página
2.4 - A Avaliação das perdas de água na aplicação	21
CAPÍTULO III MATERIAIS E MÉTODOS	24
1.0 - LOCALIZAÇÃO DOS TESTES	24
2.0 - SELEÇÃO DAS PARCELAS IRRIGADAS	26
3.0 - CARACTERÍSTICAS FÍSICO-HIDRICAS DOS SOLOS AVALIADOS	26
4.0 - PARÂMETROS DE IRRIGAÇÃO	29
4.1 - Características dos Sulcos	29
4.2 - Vazão de entrada	30
4.3 - Curva de avanço e de recessão	30
4.4 - Curva de infiltração	31
5.0 - AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO	33
5.1 - Cálculo de volumes derivados do canal parcelar	33
5.2 - Cálculo do volume armazenado pelas raízes	34

	Página
CAPÍTULO IV RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
A - PARÂMETROS DE IRRIGAÇÃO	36
1.0 - CARACTERÍSTICAS DOS SULCOS	36
2.0 - VAZÃO DE ENTRADA	38
3.0 - CURVA DE AVANÇO E RECESSÃO	39
4.0 - CURVA DE INFILTRAÇÃO	47
B - AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO	50
1.0 - PERÍMETRO IRRIGADO ENGENHEIRO ARCOVERDE	50
2.0 - PERÍMETRO IRRIGADO DE SÃO GONÇALO	54
3.0 - PERÍMETRO IRRIGADO DE SUMÉ	57
CAPÍTULO V CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	62
BIBLIOGRAFIA	65
APÊNDICE	69

CAPÍTULO I

I N T R O D U Ç Ã O

O aumento constante da população mundial, exige um incremento na produção agrícola, tanto em quantidade como qualidade, para atender à crescente demanda de alimento e matéria prima. Até pouco tempo, o acrescimo da produção agrícola era conseguido através da adição de novas áreas produtivas. Com a diminuição contínua das terras produtivas, houve a necessidade de aprimoramento da agricultura e novas técnicas foram in-troduzidas, com a finalidade de aumentar a produtividade e qualidade dos produtos oriundos da agricultura.

Inegavelmente, a irrigação é uma das técnicas agrícolas de mais alta importância, que quando utilizada com as demais, trará grandes benefícios à agricultura. O uso racional da água, permite não só o aumento da produção em regiões

já em cultivo, mas também a incorporação de novas áreas produtivas, como foi o caso de Israel. Contudo, os benefícios que a irrigação traz à agricultura, exigem um preparo do mais alto nível técnico, isto porque, ao invés de permitir a obtenção de maiores safras, poderá trazer o desastre à lavoura, destruindo a qualidade dos solos.

A região Nordeste do Brasil, com uma superfície de 1.641.000 quilômetros quadrados, constitui-se numa área que sofre o fenômeno das anomalias climáticas com ocorrência de secas cíclicas, com uma frequência máxima de 2 (dois) anos em cada período de 10 (dez) anos. O aproveitamento do binômio solo-água contribuirá para o incremento da produção agrícola da região. A utilização racional dos recursos naturais para fins de agricultura irrigada, permite um aumento da ordem de 8 vezes na produção agrícola, comparada com as produções médias anuais obtidas a partir da agricultura não irrigada nos atuais padrões de exploração. A irrigação além de fornecer a vantagem de assegurar uma produção contínua, de alta qualidade, não é vulnerável aos efeitos das secas e estiagens. (LAROCHE, 1973).

Sabe-se que a irrigação é a aplicação artificial de água às plantas, através de métodos adequados ao tipo de solo, com o propósito de aumentar a produção, sem os inconvenientes do acúmulo de água por estagnação, evitando-se perdas inúteis. Nem toda a água retirada de uma fonte qualquer de su

primento fica alojada na zona radicular. Uma parte percola até uma profundidade abaixo das raízes, outra evapora na superfície enquanto pode haver um desperdício em forma de escoamento superficial. A eficiência de irrigação, comumente expressa em porcentagem, é a razão entre o volume de água de irrigação transpirado pelas plantas mais o evaporado na superfície do solo e o volume retirado de uma fonte qualquer. (JENSEN et alii, 1967).

Levando-se em consideração, que na maioria dos projetos de irrigação do Nordeste, e principalmente nos perímetros irrigados do Estado da Paraíba, o método de irrigação por sulco é o mais empregado e que pouco se sabe sobre a eficiência de aplicação de água pelos colonos, necessário se faz avaliar esta eficiência e apresentar sugestões, a fim de melhorá-la.

O objetivo deste trabalho é portanto, avaliar a eficiência de aplicação de água na irrigação por sulcos, nos perímetros irrigados do Estado da Paraíba, todos administrados pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

EFICIÊNCIA DE IRRIGAÇÃO

Toda a água retirada de uma fonte de suprimento qualquer, não consegue ser aproveitada integralmente pelas plantas. No percurso realizado pela água, que se inicia na captação e termina quando ela é evaporada do solo e absorvida pelas plantas, verifica-se uma série de perdas as quais são necessárias serem analisadas isoladamente através da eficiência correspondente.

Alguns autores tentando avaliar a eficácia dos sistemas de irrigação, têm introduzido o termo eficiência de irrigação, (OLIVIER, 1971). A eficiência de irrigação é a relação entre o volume de água realmente utilizado pela planta e

o volume extraído da fonte de suprimento, (DAKER, 1973). Ela pode ser expressa pela seguinte fórmula:

$$E_i = \frac{W_c}{W_r} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

E_i = eficiência de irrigação

W_c = quantidade de água de irrigação realmente consumida pela planta

W_r = quantidade de água retirada da fonte de suprimento.

A eficiência de irrigação de um projeto é dividida em várias fases, sendo que em cada uma delas existe uma eficiência correspondente. Assim sendo, pode-se expressar a eficiência de irrigação através da seguinte expressão, (OLIVIER, 1971).

$$E_i = E_c \times E_a \quad (2)$$

Onde:

E_c = eficiência de condução

E_a = eficiência de aplicação

A divisão da eficiência de irrigação em etapas, serve para determinar as responsabilidades entre o agricultor e as autoridades administrativas do projeto. A eficiên-

cia de condução está sob a responsabilidade da administração do perímetro irrigado, enquanto que a de aplicação está sob a responsabilidade do agricultor (OLIVIER, 1971).

1 - EFICIÊNCIA NA CONDUÇÃO DA ÁGUA

ISRAELSEN e HANSEN (1965), definem a eficiência de transporte e administração como sendo a relação entre o volume de água fornecido aos lotes e o retirado da fonte. Esta eficiência tem a seguinte expressão matemática:

$$E_c = \frac{W_f}{W_r} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

W_f = volume de água fornecido ao lote

1.1 - TIPOS DE PERDAS NA CONDUÇÃO DA ÁGUA

GRASSI (1975), cita como principais perdas observadas na condução da água as seguintes: infiltração, evaporação, vazamento e transbordamento nos canais.

a) Infiltração

A infiltração de água, ao longo do perímetro

molhado nos canais dos sistemas de irrigação, além de ocasionar uma baixa eficiência na utilização da água, pode concorrer na elevação do nível do lençol freático, o que poderá, eventualmente, provocar problemas de salinização, caso não se disponha de um adequado sistema de drenagem. POIRÉE e OLLIER, (1970), afirmam que a intensidade da infiltração, varia em função de certos fatores, sendo os mais importantes:

- Natureza do solo onde está construído o canal. Nos solos arenosos a perda por infiltração será maiores do que nos solos argilosos.

- Altura da água no canal, quanto maior for a altura maior será a pressão sobre os taludes e no fundo do canal.

- Temperatura de água e do solo, que faz variar a penetração da água, dada a variação da sua viscosidade.

- Velocidade da água no perfil do canal, quando é muito alta, causa erosão e evita a desposição de elementos finos transportados pela água, os quais diminuem a sua infiltração.

Segundo GRASSI (1975), a perda por infiltração depende dos seguintes parâmetros: natureza física dos solos, superfície de infiltração e regime de funcionamento dos

sistemas. A superfície de infiltração depende do comprimento to tal da rede de irrigação e do perímetro molhado. Quanto ao sis tema de funcionamento, os canais que são alimentados com vazão contínua, dão uma menor perda por infiltração do que os canais que permanecem longo período de tempo sem circulação de água, porque durante o tempo em que estes ficam secos, há aparecimento de fendas, as quais facilitam a infiltração da água.

ISRAESEN (1950), afirma que a perda por infiltração em canais é de 2, 8 e 15%, para solos de textura argilosa, média e arenosa, respectivamente.

b) Evaporação

Segundo POIRÉE e OLLIER (1970), a perda por evaporação tem em geral pouca importância em relação à perda por infiltração. Eles estimam que, no máximo, a perda por evaporação é 10% da perda por infiltração, em termo médio 2 a 5%, por isso ela é frequentemente desprezada.

GRASSI (1968), afirma que a perda por evaporação, tem pouca importância, em virtude da reduzida área de exposição nos sistemas de condução e da relação área e volume conduzido.

c) Vazamento e transbordamento de canais

Esta perda é também chamada de perda aci-

dental e de operação, ela é proveniente do rompimento e transbordamento de canais.

OLIVIER (1971), cita ainda um outro tipo de perda verificada na condução da água. É a perda por transpiração. Ela diz respeito ao desperdício de água nos canais de condução, devido a transpiração das plantas que crescem ao longo destes. Ela pode ser reduzida, fazendo-se a eliminação destas plantas.

Segundo GRASI (1968), nos projetos bem operados, a perda por vazamento e transbordamento atinge apenas 5%.

1.2 - DIVISÃO DOS SISTEMAS DE CONDUÇÃO DA ÁGUA

Para melhor caracterizar as perdas nos sistemas de condução, estes são divididos em 2 partes distintas: Estruturas de condução maiores e Sistema de Condução.

a) Estruturas de condução maiores

Os meios de conduzir o fornecimento vindo da fonte para o sistema de distribuição, têm um relacionamento direto com a eficiência de condução alcançada. No caso de um projeto de irrigação, onde as estruturas de condução são consti -

tuídas por canais não revestidos, as perdas por infiltração , evaporação e transpiração são significativas, dependendo, principalmente, da extensão e do tipo de solo onde estão localizados, (OLIVIER, 1971).

b) Sistema de condução

As perdas nos sistemas de condução são, em geral, devidos as causas similares as ocorridas nas estruturas de condução maiores. A proporção de perdas tende a ser maior no sistema de condução porque:

- Os tamanhos dos canais são menores e as áreas umedecidas são maiores em relação a unidade de descarga, dando origem a possibilidade de infiltração maior.

- A proporção de escapamento tende a ser mais alta especialmente se a água é fornecida a um sistema de demanda ou se a área está sujeita a tempestades locais durante a estação de irrigação(OLIVIER, 1971).

1.3 - FATOR DE DIVERSIDADE NA CONDUÇÃO (Fdc)

Em qualquer canal existem certas características que controlam as perdas de água. Se para um período de tempo em particular, a água suplementada ao canal excede ou está

abaixo das necessidades da fazenda (necessidade ideal de irrigação calculada na fonte), existe indeficiência provocando decréscimo na produção dos cultivos ou perdas de água diminuindo a eficiência de irrigação, em detrimento da economia do projeto, (OLIVIER, 1971).

O fator de diversidade na condução de água é dado pela diferença entre a necessidade ideal de irrigação, medida na fonte, e o excesso ou deficiência desta dividida pela necessidade ideal de irrigação, (OLIVIER, 1971). Considerando este fator, uma nova expressão da eficiência de condução de água é dada:

$$E_c = \frac{W_f}{W_r} \times F_{dc} \times 100 \quad 4.$$

2 - EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO DE ÁGUA

Sob o ponto de vista de economia de água, a irrigação ideal será aquela na qual se aplicará água suficiente para umedecer uniformemente o solo em toda a zona ocupada pelas raízes das plantas. A medida da qualidade em se conseguir esta aplicação ideal da água, é definida como eficiência de aplicação da água, (THORNE e PETERSON, 1969).

De acordo com o DICIONÁRIO TÉCNICO MULTILINGUE DE LA I.C.I.D. (1967), ISRAELSEN e HANSEN (1965) e GRASSI (1975), a eficiência de aplicação de água na parcela, é definida como a relação entre o volume de água que se armazena no solo na zona radicular e que depois se consome (evapora e transpira ou ambas) e o volume de água entregue à parcela. Matematicamente se expressa da seguinte maneira:

$$Ea = \frac{Ws}{Wf} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

Ws = água armazenada na zona radicular durante a irrigação

Wf = volume de água fornecido ao lote.

Não existe um único critério que estime adequadamente a eficiência de aplicação de um projeto, em virtude dos vários parâmetros que influem na determinação da eficiência de aplicação, tornando-se difícil estabelecer valores gerais, uma vez que para as mesmas condições de solo, podem-se obter eficiências de aplicações completamente diferentes, dependendo da preparação do solo e do manejo da irrigação. De acordo com experiências realizadas nos Estados Unidos por ISRAELSEN (1950), citado por GRASSI (1968), chegou-se a correlacionar a eficiência de aplicação com as propriedades físicas do

solo, encontrando-se valores de 43, 67 e 63%, para os solos de textura arenosa, média e argilosa, respectivamente.

KELLER e MC CULOCK (1962), citados por GRASSI (1968), levando em consideração os parâmetros textura do solo e topografia, encontraram valores extremos de eficiência de aplicação, para métodos de irrigações superficiais, que oscilaram entre 20 e 75%. Como termo médio, 65% pode ser considerado como eficiência relativamente adequada.

KELLER, (1965), citado por GRASSI (1968), relacionou a eficiência de aplicação de água, com diferentes métodos e lâminas de água armazenadas no solo ao alcance das raízes. Em ambos os casos as análises mostraram que essa relação era linear e que as maiores eficiências tinham-se quando a lâmina aplicada estava em torno de 127 mm.

HOUK (1965), citado por GRASSI (1968), depois de estudar um grande número de projetos, concluiu que a eficiência de aplicação de água, para culturas comuns, oscilava entre 20 e 50%. No entanto culturas especiais e fruteiras estava em torno de 35 a 70%.

JENSEN (1967), citado por GRASSI (1968), afirma que o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, admite que os agricultores nos projetos em operação tinham uma eficiência de aplicação de 70 a 75%.

2.1 - TIPOS DE PERDAS NA APLICAÇÃO DA ÁGUA

Segundo ISRAELSEN et alii (1944), baixas eficiência de aplicação, são comuns, encontrando-se em termos médios valores em torno de 20%. Frequentemente, a baixa eficiência de aplicação de água, provém de perdas causadas por: excesso de água que se aplica e que se infiltra abaixo da zona radicular; água que escorre além dos limites da superfície que se irriga e água que se evapora durante a aplicação. No caso da irrigação por aspersão, ocorre perda devido a dispersão de água pelo vento. No caso especial de solos salinos pode-se perder água na lixiviação de sais dos perfis destes.

a) Perda por percolação profunda

A perda por percolação profunda refere-se ao desperdício de água abaixo do sistema radicular das culturas. GRASSI (1975), afirma que a perda por percolação profunda, é maior nos sistemas de irrigações superficiais do que na irrigação por aspersão.

Segundo LOPES (1973), a perda por percolação profunda seria eliminada se a irrigação fosse insuficiente. Isto traria o inconveniente de não satisfazer a condição básica de repor ao solo toda a água utilizada, nas zonas das raízes.0

mesmo autor afirma que, se os tempos de contatos da água ao longo dos sulcos fossem os mesmos, a perda seria menor.

b) Perda por escoamento superficial

A perda por escoamento superficial diz respeito à água que sobra no final da parcela e esco superficialmente. VIEIRA (1971), estima esta em torno de 31%.

Segundo GRASSI (1975), a perda por escoamento superficial pode ser atenuada com a redução da vazão inicial, após a água atingir o ponto final do sulco.

c) Perda por evaporação

Refere-se esta perda, a água que se evapora durante a aplicação. GRASSI (1975), indica que a perda por evaporação é predominante no sistema de irrigação por aspersão. No sistema de irrigação por sulcos, a água perdida por evaporação é insignificante em virtude da pequena área de exposição e do tempo de aplicação.

2.2 - FATORES QUE AFETAM A EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO

As perdas de água na aplicação, podem ser, ge

ralmente, consideradas maiores do que as verificadas na distribuição. Isto é devido serem as áreas umedecidas por unidade de volume, nos condutos da aplicação de água, na propriedade, bem maiores do que as dos grandes canais de distribuição. A possibilidade de escapamento de água, torna-se portanto relativamente maior. Assim, pode-se aumentar a eficiência de um volume de água, melhorando a eficiência de sua aplicação.

GRASSI (1975), enumera alguns fatores que afetam a eficiência de aplicação. São eles: características do solo, declividade das parcelas (sulcos), dimensão das parcelas e habilidade do agricultor no manejo da água.

Em solos arenosos predomina a perda por percolação profunda, enquanto diminui a perda por escoamento superficial. BLANEY e CRIDDLE (1962), estimam que a eficiência de aplicação em solo de textura arenosa estava em torno de 60% enquanto que esta era de 75% para solos de textura fina.

Quanto à declividade, à medida em que esta aumenta, cresce a perda por escoamento e diminui a por percolação profunda. De uma maneira geral, pode-se afirmar que a perda por percolação profunda aumenta à medida que cresce a velocidade de infiltração e diminui à medida que aumenta a declividade. Na perda por escoamento superficial, ocorre o contrário. Vale salientar, que a declividade influi na perda por percolação profunda, aumentando ou diminuindo o tempo de contato de água sobre o solo.

As dimensões das parcelas também incidem nas perdas durante a aplicação de água. Assim, se estas são exageradamente grandes, torna-se grande o intervalo de tempo gasto pela água para ir do início ao final do sulco, acarretando com isto uma desuniformidade na distribuição da água no perfil do solo.

A habilidade do agricultor no manejo da água, constitui-se um fator importante que afeta a eficiência de aplicação. Muitas perdas podem ser evitadas se o agricultor souber manejar a água e aplicá-la convenientemente, segundo as condições e preparo do solo. Embora alguns fatores não possam ser controlados pelo agricultor, como certas propriedades físicas do solo, principalmente as que dizem respeito à textura e à profundidade, outras propriedades, como a estrutura, a compactação, a porosidade, a capacidade de retenção e a permeabilidade podem ser modificadas em parte, usando-se um manejo racional do solo. Finalmente, o agricultor pode controlar outros fatores importantes que podem influir na eficiência de irrigação, como o preparo do solo, o sistema de irrigação, a perda por escoamento superficial e a umidade do solo antes da irrigação.

ISRAELSEN et alii, (1944), chegaram a conclusão, que os fatores abaixo discriminados, reduzem em muito a eficiência de aplicação de água.

- a) Superfícies irregulares, mal preparo do terreno que provoca estancamento de água nas depressões o que dificulta muito a distribuição uniforme da água.
- b) Métodos inadequados para distribuir e aplicar a água.
- c) Vazão e tempo de aplicação inadequados, como o uso de grandes vazões em parcelas curtas de pequena permeabilidade, produzindo grande escoamento superficial, ou o emprego de pequenas vazões em grandes parcelas com o solo muito permeável, implicando em grande percolação profunda.
- d) Falta de atenção do agricultor em controlar a perda por escoamento superficial, o que sucede principalmente quando se dispõe de abundância de água.
- e) Aplicação de volume excessivo de água, em cada irrigação, ultrapassando a capacidade de retenção de água do solo até a profundidade do sistema radicular das plantas, fornecendo a perda de água por percolação profunda.

f) Reinício das irrigações quando o solo ainda está úmido.

2.3 - DIVISÃO DA EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO

Estudos tratando de aumentar a eficiência de aplicação de água, revelam que a expressão (5) é muito simplificada, devido a que esta não considera todos os fatores que afetam esta eficiência e portanto tende a mascarar operações ineficientes. Assim, é necessário subdividir a eficiência de aplicação em três fatores constituintes. OLIVIER (1971).

a) Fator de diversidade na aplicação (Fda)

O fator de diversidade na aplicação de água, pode ser representado como sendo a diferença entre a necessidade ideal de irrigação e o excesso ou deficiência de água de irrigação aplicada por unidade de área onde está localizada a cultura, dividida pela necessidade ideal de irrigação. Este fator considera: Perda de colheita, aumento do perigo de salinidade dada a irrigação insuficiente e desperdício de água. O fator de diversidade na aplicação varia entre 60% e 95%, (OLIVIER, 1971).

b) Fator de armazenamento do solo (F_a)

O fator de armazenamento do solo pode ser expresso como sendo a razão entre o volume fornecido, retido na zona das raízes disponível para o uso das plantas e o volume de água de irrigação entregue por unidade de área.

Segundo OLIVIER (1971), o fator de armazenamento do solo, considera as seguintes perdas de água:

- Vazamento e perdas originadas nos canais; - Escoamento superficial; - Percolação profunda; - Evaporação na superfície do solo; - Intercepção e dispersão pelo vento, no caso de irrigação por aspersão; e Aplicações especiais com a finalidade de lixiviar sais.

A variação deste fator é de 40 a 85% (OLIVIER, 1971).

c) Fator de uniformidade (F_u)

O fator de uniformidade é expresso pela razão entre o volume da zona das raízes umedecida pela água de irrigação e o volume ocupado pelas raízes das culturas. O valor deste fator varia entre 70 e 95%, (OLIVIER, 1971).

Distribuição desuniforme de água devido a inadequada sistematização da parcela, a falta de uniformidade na aplicação da água, as limitações do sistema de distribuição ou o efeito do vento no caso de irrigação por aspersão, são fatores que devem ser considerados quando se refere a eficiên-

cia de aplicação. Tais fatores são incluídos no Fator de uniformidade, (OLIVIER , 1971).

Combinado estes três fatores, chega-se a uma nova expressão da eficiência de aplicação:

$$E_a = F_{da} \times F_a \times F_u \times 100 \quad (6)$$

2.4 - AVALIAÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA NA APLICAÇÃO

a) Perda por percolação profunda

CRIDDLE et alii (1965), fazendo uma análise matemática da perda por percolação profunda, sendo conhecida a equação de infiltração do solo para um determinado comprimento de sulco, encontrou uma relação entre o tempo de avanço e o tempo necessário para aplicar a lâmina de água no final do sulco. Para esta relação e num solo de textura média, a perda por percolação profunda foi de 5,3%. BISHOP (1962), utilizando a equação de velocidade de infiltração, $I = KT^{-n}$, onde I é velocidade de infiltração da água no solo, K é um parâmetro função da umidade inicial do solo, (AZEVEDO, 1975), n é um expoente determinado experimentalmente, e T é o tempo; e a relação encontrada por CRIDDLE et alii (1956), estima a perda por percolação profunda do seguinte modo:

$$P_d = \frac{(R + 1)^{n + 1} - R^{n + 1}}{(R + 1)^{n + 1} + R^{n + 1}} \times 100 \quad (7)$$

Onde:

P_d = porcentagem de água que se perde por percolação profunda

R = é um número que é dado pela seguinte relação: $R = T_r/T_1$

T_r = tempo necessário para aplicar a água até a profundidade do solo ocupada pelas raízes sem perda por percolação profunda

T_1 = é o tempo necessário para que a água chegue ao extremo do sulco

n = é o mesmo expoente determinado para a equação da velocidade de infiltração da água no solo

b) Perda por escoamento superficial

A perda por escoamento superficial, é uma fração do volume total aplicado, pode ser representada pela razão entre o volume escoado e o aplicado.

Segundo WILLARDSON e BISHOP (1967), o volume de água escoado no final do sulco, tem por duração o tempo em que a água fica sobre o solo e é suficiente para aplicar a lâ-

mina de água no extremo inferior do sulco. Assim baseado eles estimam a perda por escoamento superficial através da seguinte expressão:

$$Pr = \left(\frac{Tr}{Tl + Tr} \right) \left(\frac{Qr}{Qf} \right) \times 100 \quad (8)$$

Onde:

Pr = porcentagem de água proporcionada ao campo que se perde por escoamento superficial

Qr = vazão escoada

Qf = vazão de entrada

A equação (8) tem a desvantagem de considerar a vazão escoada no final da parcela constante.

CAPÍTULO III

MATERIAL E MÉTODOS

1 - LOCALIZAÇÃO DOS TESTES

Os testes foram realizados nos Perímetros Irrigados de Engenheiro Arcoverde, São Gonçalo e Sumê, todos estes localizados no Estado da Paraíba e administrados pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS).

O Perímetro Irrigado Engenheiro Arcoverde, acha-se localizado no município de Condado. A área total do Perímetro é 444,30 hectares, com uma área irrigável de 281,17 hectares, o restante é constituído por área seca.

Segundo o DNOCS (1971), o clima da região é quente seco, as chuvas que caem no Perímetro Irrigado Engenhei

ro Arcoverde, concentram-se no trimestre fevereiro a abril, enquanto que o trimestre agosto a outubro é o que chove menos. A precipitação média da área localizada à jusante do Açude Público Engenheiro Arcoverde, área do perímetro irrigado, é de 873,11mm e a temperatura média é de 27°C.

O Perímetro Irrigado de São Gonçalo, acha-se localizado no município de Sousa. A área total do perímetro é 4.600 hectares, sendo a área irrigável de 3.350 hectares.

Segundo o DNOCS (1971), o clima da região é seco de estepe, semi-árido quente; as chuvas que caem no Perímetro Irrigado de São Gonçalo, concentram-se no trimestre fevereiro a abril. Cerca de 66% das precipitações caem neste trimestre. A média das precipitações, de acordo com dados de 54 anos é de 590mm. O trimestre mais seco é agosto a outubro, que corresponde a 2,8% do total anual. A temperatura média é 27°C, sendo os meses mais frios junho e julho e os mais quentes novembro e dezembro. A umidade relativa média é 64%.

O Perímetro Irrigado de Sumé, acha-se localizado no município do mesmo nome. A área total do projeto é de 700,06 hectares, estando projetada a área irrigável para 223,96 hectares, implantado atualmente apenas 134,46 hectares.

O clima da região é seco, semi-árido. A precipitação média é de 437,4mm, concentrando-se no período de mar-

ço a junho, enquanto que a temperatura média é de 23,99C, os meses mais quentes são dezembro e janeiro, ao passo que os mais frios são agosto e setembro, (DNOCS, 1969).

2 - SELEÇÃO DAS PARCELAS IRRIGADAS

A seleção das parcelas obedeceu aos seguintes critérios:

- a) Em cada perímetro foram selecionadas 3 (três) parcelas.
- b) Estas parcelas estavam localizadas nas manchas de solo mais representativas de cada perímetro.
- c) As dimensões das parcelas selecionadas, representavam as dimensões médias das parcelas dos perímetros.

3 - CARACTERÍSTICAS FÍSICO-HÍDRICAS DOS SOLOS AVALIADOS

As texturas dos perfis dos solos nos locais

onde foram realizados os testes, com incrementos de 20cm, até uma profundidade de 120cm, são apresentadas nas Tabelas 1, 2 e 3 do apêndice. A análise físico-mecânica do solo foi feita através do método da pipeta (DAY, 1965).

A determinação da densidade aparente das camadas do solo foi feita utilizando-se cilindros metálicos com diâmetro de 5,0 centímetros e comprimento de 2,55 centímetros.

A umidade equivalente foi determinada no laboratório, saturou-se o solo com água e em seguida submetendo a uma força centrífuga correspondente a mil vezes a da gravidade, durante 30 minutos.

A capacidade de campo, foi estimada a partir dos dados de umidade equivalente. Para isto se empregou a relação capacidade de campo versus umidade equivalente, figura 1, determinada por I.V. Botelho, (DNOCS, 1971).

O ponto de murchamento permanente, foi determinado colocando-se o solo numa membrana porosa e submetendo-o a uma pressão positiva de 15 atmosferas.

Os valores de densidade aparente, capacidade de campo e ponto de murchamento permanente, estão nas tabelas 4, 5 e 6 do apêndice.

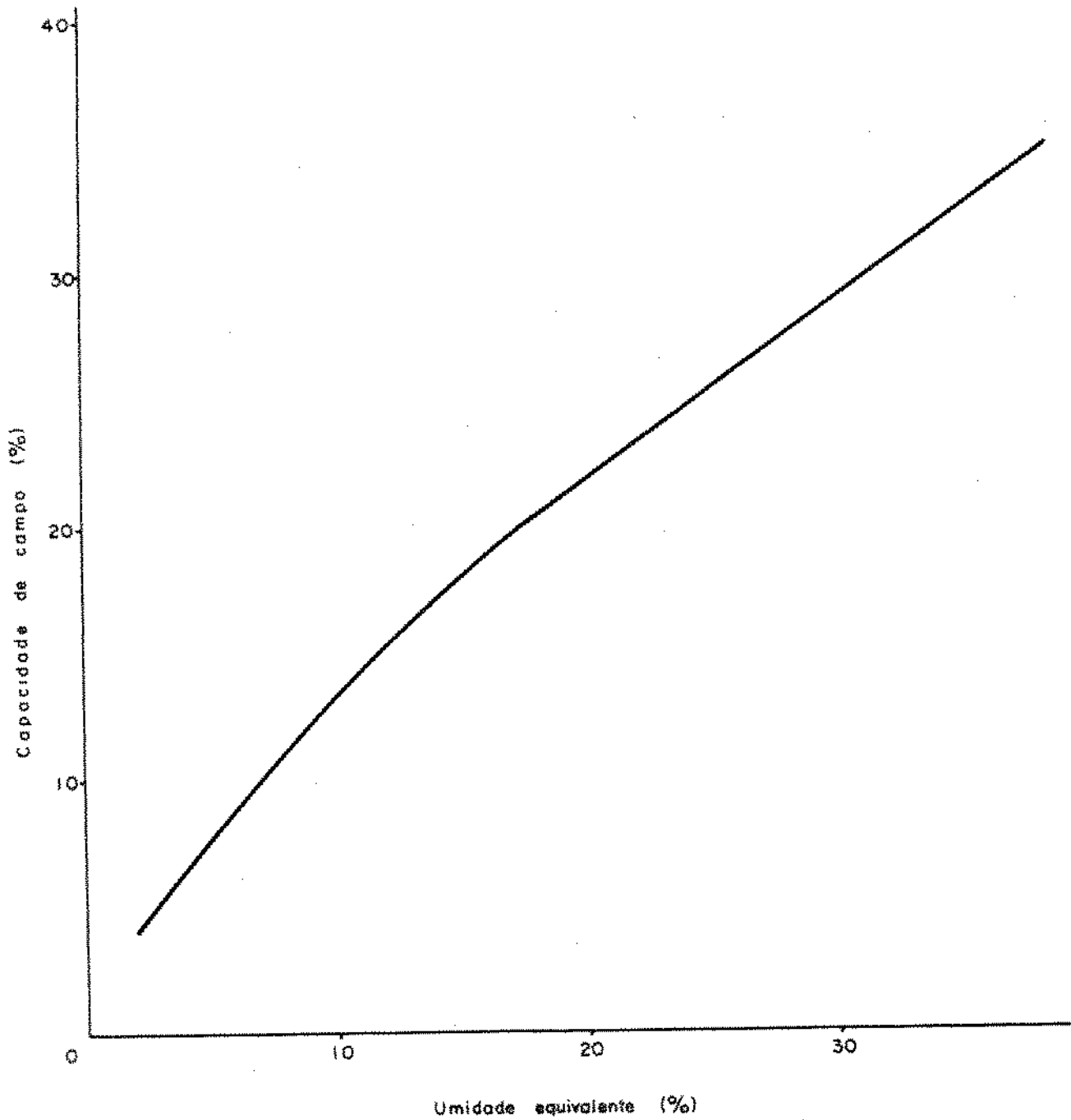


Figura-1-Relação aproximada entre a capacidade de campo e a umidade equivalente em solos minerais não afetados por Sódio

4 - PARÂMETROS DE IRRIGAÇÃO

4.1 - CARACTERÍSTICAS DOS SULCOS

A escolha dos sulcos nas parcelas foi ao acaso. O espaçamento entre os sulcos foi variado, em função das culturas que estavam implantadas nas parcelas escolhidas. O comprimento foi limitado pelo tamanho das parcelas dos perímetros. As declividades dos sulcos foram determinadas com auxílio de um nível, fazendo-se leituras ao longo destes, com intervalos de 20 metros. O ponto 0 (zero) foi localizado a uma distância aproximadamente de 3 (três) metros da base do canal parcelar para evitar a influência do aterro do canal na declividade do sulco. Não foi feita nenhuma modificação nos sulcos seleccionados, de modo que estes representassem as condições reais que o irrigante emprega. Foram feitas apenas ligeiras alterações nos bordos dos sulcos, para evitar que houvesse uma contribuição através de transbordamento dos sulcos vizinhos.

A metodologia da irrigação foi exatamente a mesma utilizada pelos colonos nos perímetros, a fim de poder-se avaliar a eficiência de aplicação de água de irrigação, empregada nos lotes.

4.2 - VAZÃO DE ENTRADA

A aplicação da água nos sulcos foi feita desde um canal parcelar, através de sifões de plásticos. Os sifões usados nos perímetros tinham diâmetros entre 2 a 4 polegadas.

Para se medir as vazões de entrada nos sulcos, instalou-se uma calha parshall, previamente calibrada em laboratório, a uma distância aproximada de 3 (três) metros da base do canal parcelar. As leituras foram feitas com intervalos de 2 em 2 minutos, até completar o tempo de irrigação. Feito o somatório dos volumes escoados nestes intervalos e dividido pelo tempo de irrigação, obteve-se a vazão média aplicada nas parcelas. As vazões variaram entre 3,40 e 0,62 l/segundos. Não havia redução da vazão inicial, excessão feita apenas a uma parcela no Perímetro Irrigado de São Gonçalo. O suprimento d'água era cortado, quando a frente de avanço estava próxima ou atingia o final do sulco.

4.3 - CURVA DE AVANÇO E DE RECESSÃO

A curva de avanço foi determinada com o uso da vazão de entrada. Foram colocadas estacas ao longo do sulco em intervalos de 20 metros, para servir de ponto de referência

e em seguida foi cronometrado o tempo necessário pela frente de água para atingir cada estaca. Estes pontos, obtidos experimentalmente, foram plotados em papel log-log, colocando-se os valores de tempo nas abcissas e comprimento nas ordenadas. Adotou-se a equação de avanço, apresentada por CRIDDLE et alii (1956), $X = pT_x^s$, onde X é o comprimento atingido pelo avanço da água no tempo T_x (metros), "p" e "s" são constantes determinadas experimentalmente e T_x é o tempo (minutos). Os parâmetros da equação da reta, foram determinados usando-se o método dos mínimos quadrados, segundo GRASSI et alii (1965), citado por AZEVEDO (1975). A recessão foi considerada insignificante segundo método adotado por CRIDDLE et alii (1956).

4.4 - CURVA DE INFILTRAÇÃO

Os testes de infiltração, foram realizados mediante o método dos cilindros de infiltração, entretanto este método não é bom estimador da infiltração por sulcos devido medir apenas a infiltração vertical. Seu uso no presente trabalho prendeu-se ao fato da necessidade, apenas da estimação dos parâmetros de irrigação e considerando ter sido o método usado nos perímetros para dimensionar o tamanho das parcelas. Foi empregada a equação empírica da infiltração acumulada apresentada por KOSTIAKOV (1932), e citada por AZEVEDO (1975).

$$D = cT^m \quad (9)$$

Onde D é a infiltração acumulada em centímetros de água, m é um parâmetro determinado experimentalmente, c é a infiltração acumulada em centímetros quando T = 1, e T é o tempo transcorrido em minutos.

Derivando-se a equação (9) em função do tempo, obteve-se a equação (10) da velocidade de infiltração:

$$I = KT^{-n} \quad (10)$$

Onde I é a velocidade de infiltração em centímetro/hora, n é uma constante e K é a velocidade de infiltração quando T = 1 e T é o tempo transcorrido.

Os dados obtidos no campo, foram plotados em papel log-log, colocando-se o tempo nas abcissas e a infiltração acumulada nas ordenadas. Os parâmetros da equação da reta foram determinados, estatisticamente, através do método dos mínimos quadrados segundo GRASSI et alii (1965).

Os parâmetros das equações da infiltração acumulada e da velocidade de infiltração estão na tabela 10 do Apêndice. Os parâmetros k e n da equação da velocidade de infiltração, foram calculados a partir dos parâmetros c e m da equação da infiltração acumulada.

5 - AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO

Para avaliação da eficiência de aplicação de água na irrigação, empregou-se a equação (5) proposta por GRASSI (1975).

$$Ea = \frac{Varm}{Vder} \times 100$$

Onde:

Varm = volume de água armazenado no solo e que é explorado pelas raízes e consumido no processo de evapotranspiração - (m³).

Vder = volume de água derivado do canal parcelar - (m³)

5.1 - CÁLCULO DO VOLUME DERIVADO DO CANAL PARCELAR

Para se calcular o volume derivado, eram a vazão e o tempo de aplicação conhecidos. A equação empregada foi a seguinte:

$$Vder = q \times t \quad (11)$$

Onde:

q = vazão de alimentação média (l/seg)

t = tempo de aplicação (segundos)

5.2 - CÁLCULO DO VOLUME ARMAZENADO E EXPLORADO PELAS RAÍZES

O volume armazenado foi determinado com o uso da seguinte expressão:

$$V_{arm} = A_{arm} \times E \quad (12)$$

Onde:

A_{arm} = área de armazenamento (m^2)

E = espaçamento dos sulcos (m)

Para se determinar a área de armazenamento, procedeu-se do seguinte modo: calculou-se a lâmina d'água armazenada em cada estaca (L_{arm}). Os pontos assim calculados foram plotados num papel milimetrado, colocando-se os valores de comprimento dos sulcos nas abcissas e as lâminas calculadas nas ordenadas. Com o auxílio de um planímetro, determinou-se as áreas correspondentes. A lâmina armazenada em cada estaca ao longo do sulco foi determinada pela equação:

$$L_{arm} = \frac{(U_{dir} - U_{air}) \times d \times P}{100} \quad (13)$$

Onde:

U_{dir} = conteúdo de água no solo depois da irrigação (%)

U_{air} = conteúdo de água no solo antes da irrigação (%)

d = densidade aparente (g/cm^3)

P = profundidade do sistema radicular (m)

O conteúdo de umidade do solo antes e depois da irrigação, foi determinado através do método gravimétrico. Para tanto, o sulco foi estaqueado de 20 em 20 metros, nestes pontos determinou-se a umidade do solo, com intervalos de 0,20 metros, até uma profundidade de 1,20 metros. Estas determinações foram feitas antes de se irrigar e 24 horas após a irrigação.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A - PARÂMETROS DE IRRIGAÇÃO

1 - CARACTERÍSTICAS DOS SULCOS

Os sulcos escolhidos ao acaso dentro das parcelas selecionadas, apresentaram espaçamento diferentes (Tabela 1), isto devido às culturas previamente instaladas nos perímetros irrigados.

TABELA 1 - CULTURAS ESTABELECIDAS E ESPAÇAMENTO DOS SULCOS

C U L T U R A S	E S P A Ç A M E N T O (m)
Banana	2,00
Tomate	1,40
Milho	1,00

Os sulcos apresentaram uma grande desuniformidade nas declividades. Em alguns perímetros irrigados, como foram os casos de São Gonçalo e Engenheiro Arcoverde, os sulcos apresentaram até declividade negativa. A causa principal da irregularidade na superfície do solo foi devida ao abatimento das partes aterradas, revelando assim uma inadequada sistematização do solo. Como consequência desta irregularidade, observou-se uma grande desuniformidade nas lâminas de água armazenadas ao longo do sulco. A irregularidade na declividade foi verificada mediante a determinação dos coeficientes de variação. Os valores destes coeficientes, oscilaram entre 46 e 172%. Segundo GOMES (1973), coeficientes de variação nesta faixa são considerados muito altos. Nas Tabelas 7, 8 e 9 do apêndice, são apresentadas as declividades médias das parcelas e seus respectivos coeficientes de variação.

2 - VAZÃO DE ENTRADA

Os resultados das vazões de entrada e vazões máximas não erosivas, calculadas através da equação $Q_{max} = 0,63/S$ apresentada por CRIDDLE et alii (1956), onde Q_{max} é a vazão máxima não erosiva em litros por segundo e S é a declividade do sulco em porcentagem, são apresentadas na Tabela 2.

TABELA 2 - VAZÕES DE ENTRADA E VAZÕES MÁXIMAS NÃO EROSIVAS NOS PERÍMETROS IRRIGADOS

PERÍMETRO IRRIGADO	PARCELA	VAZÃO DE ENTRADA (l/seg.)	VAZÃO MÁXIMA NÃO EROSIVA (l/seg)
Engenheiro Arcoverde	1	3,40	1,73
	2	1,38	2,13
	3	1,32	0,90
São Gonçalo	1	0,80	2,20
	2	2,10	1,73
	3	1,68 e 0,80	1,64
Sumê	1	0,77	0,98
	2	0,62	1,45

Nos perímetros irrigados onde foram realizados os testes não se verificou a redução da vazão inicial, ex

cessão feita apenas à parcela 3 do Perímetro Irrigado São Gonçalo. De acordo com GRASSI (1975), a redução da vazão inicial é importante para atenuar a perda por escoamento superficial.

Analisando a tabela 2, verifica-se que os valores calculados das vazões máximas não erosivas, nas parcelas 1 e 3 do Perímetro Irrigado Engenheiro Arcoverde e na parcela 2 do Perímetro Irrigado de São Gonçalo, foram inferiores as vazões usadas. Para as demais parcelas, dos outros perímetros, a fórmula deu valores maiores ou semelhantes aos aplicados. Segundo AZEVEDO (1975), a equação proposta por CRIDDLE et alii em 1956, superestima a vazão máxima não erosiva, em declividade igual a 0,15%, apresentou resultados muito próximos dos obtidos experimentalmente para declividades entre 0,24 e 0,37%.

3 - CURVA DE AVANÇO E RECESSÃO

As Figuras 2, 3 e 4 apresentam os resultados dos testes de avanço para as vazões aplicadas nos Perímetros Irrigados Engenheiro Arcoverde, São Gonçalo e Sumé, respectivamente. As tabelas 3, 4 e 5 apresentam as equações de avanço para tais curvas e os coeficientes de determinação calculados estatisticamente através do método da regressão linear.

TABELA 3 - EQUAÇÕES DE AVANÇO E COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO PARA AS PARCELAS DO PERÍMETRO IRRIGADO ENGENHEIRO ARCOVERDE

PARCELA	DECLIVIDADE MÉDIA (%)	VAZÃO APLICADA (l / seg)	EQUAÇÃO AVANÇO $X = pT_x^s$	COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R^2)
1	0,791	3,40	$4,15T^{0,938}$	0,987
2	0,296	1,38	$5,50T^{0,820}$	0,992
3	0,716	1,32	$1,62T^{1,125}$	0,983

Analisando a Figura 2, verifica-se que o tempo necessário para a frente d'água atingir 80 metros, foi de 22, 25 e 31 minutos para as parcelas 1, 2 e 3, respectivamente. O porquê da parcela 1, manifestar um avanço de água maior do que na parcela 3, ambas com aproximadamente a mesma declividade, é devido a vazão de entrada na parcela 1 ter sido 2,46 vezes maior do que na parcela 3. Além disto, o solo na parcela 1, de textura franco argilosa (Ver tabela 1 do Apêndice), possui uma menor capacidade de infiltração que o solo da parcela 3 de natureza franco arenosa.

De acordo com a tabela 3, verifica-se que os altos valores encontrados para os coeficientes de determinação,

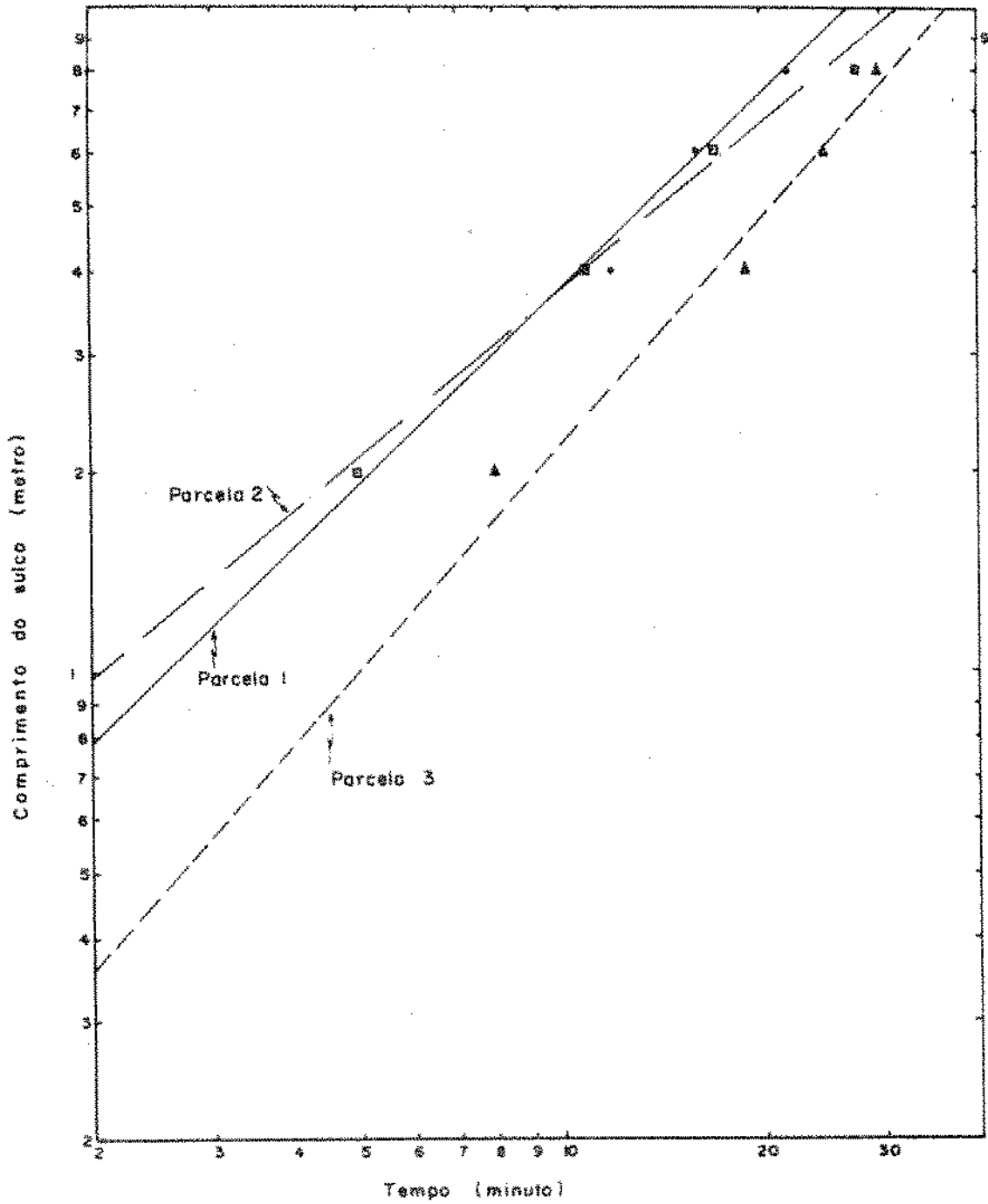


Figura 2 - Curvas de avanço para o Perímetro Irrigado Engenheiro Arcoverde para as parcelas 1, 2 e 3.

98,7, 99,2 e 98,3 para as parcelas 1, 2 e 3, respectivamente, indicam que as variações nas curvas de avanço da água no sulco, dependem do tempo. A equação $X = pT_x^S$, representa adequadamente o avanço, de acordo com trabalhos efetuados por GRIJALVA, citado por AZEVEDO (1975).

A análise da Figura 3, permite observar que do mesmo modo que no Perímetro Irrigado Engenheiro Arcoverde, no Perímetro de São Gonçalo, para parcelas com declividades aproximadamente iguais, o tempo de avanço foi menor quanto maior foi a vazão de entrada (tabela 4). Assim os tempos necessários para as frentes d'água atingirem 95 metros de sulco, foram de 39 e 60 minutos para as parcelas 2 e 3 respectivamente.

TABELA 4 - EQUAÇÕES DE AVANÇO E COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO PARA AS PARCELAS DO PERÍMETRO IRRIGADO DE SÃO GONÇALO.

PARCELA	DECLIVIDADE MÉDIA (%)	VAZÃO APLICADA (l/seg.)	EQUAÇÃO AVANÇO $X = pT_x^S$	COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R^2)
1	0,287	0,80	$4,47T^{0,656}$	0,998
2	0,365	3,10	$5,93T^{0,676}$	0,998
3	0,386	1,68	$5,12T^{0,790}$	0,997

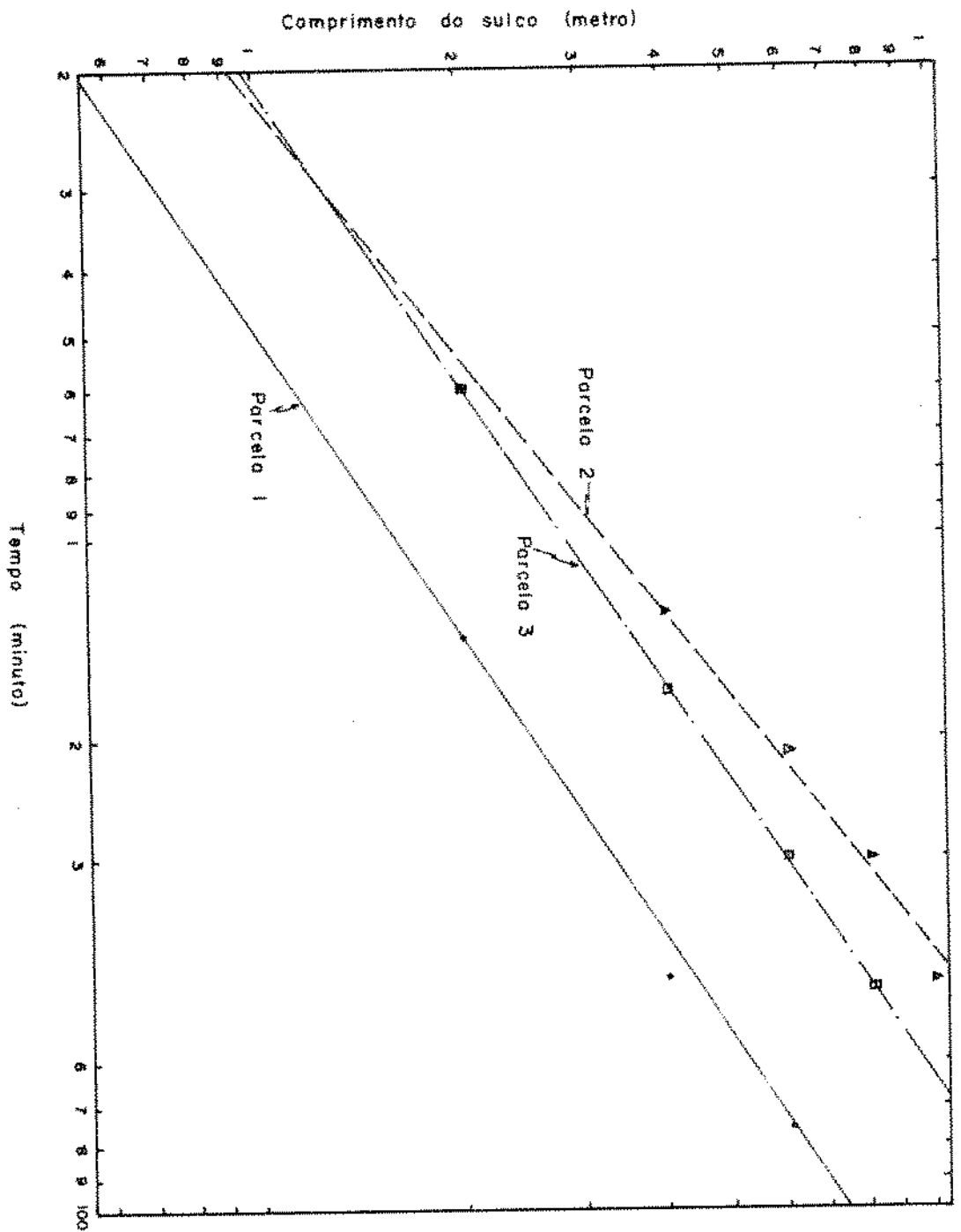


Figura 3 - Curvas de avanço para o Perímetro Irrigado de São Gonçalo para as parcelas 1, 2 e 3.

No Perímetro Irrigado de São Gonçalo, como no Perímetro Irrigado Engenheiro Arcoverde, os valores dos coeficientes de determinação foram muito altos. Revelando que as variações nas curvas de avanço da água no sulco, dependem do tempo. Os coeficientes de determinação encontrados foram de 99,8, 99,8 e 99,8 para as parcelas 1, 2 e 3, respectivamente. Comparando os resultados das tabelas 3 e 4, verifica-se que a parcela 2 do Perímetro Irrigado Engenheiro Arcoverde e a parcela 1 do Perímetro Irrigado de São Gonçalo, apresentam declividades muito semelhantes, 0,296 e 0,287%, respectivamente. A vazão da parcela 2 (Engenheiro Arcoverde) é 1,72 vezes maior do que a da parcela 3 (São Gonçalo). De acordo com as Figuras 2 e 3, nas duas parcelas para as frentes d'água atingirem uma distância de 60 metros, os tempos foram de 18 e 74 minutos para as parcelas 2 e 1, respectivamente. Observa-se que o Perímetro Irrigado Engenheiro Arcoverde possui a maior vazão de entrada, consequentemente, terá o menor tempo para a frente d'água atingir uma mesma distância, quando comparado com a parcela 1 do Perímetro Irrigado de São Gonçalo. As texturas destas parcelas, justificam ainda mais este comportamento (ver tabelas 1 e 2 do Apêndice).

Analisando a Figura 4, encontra-se que os tempos necessários para as frentes d'água alcançarem a distância de 65 metros nos sulcos são de 16 e 23 minutos para as parcelas 1 e 2, respectivamente. Na parcela 1, tanto a vazão como a

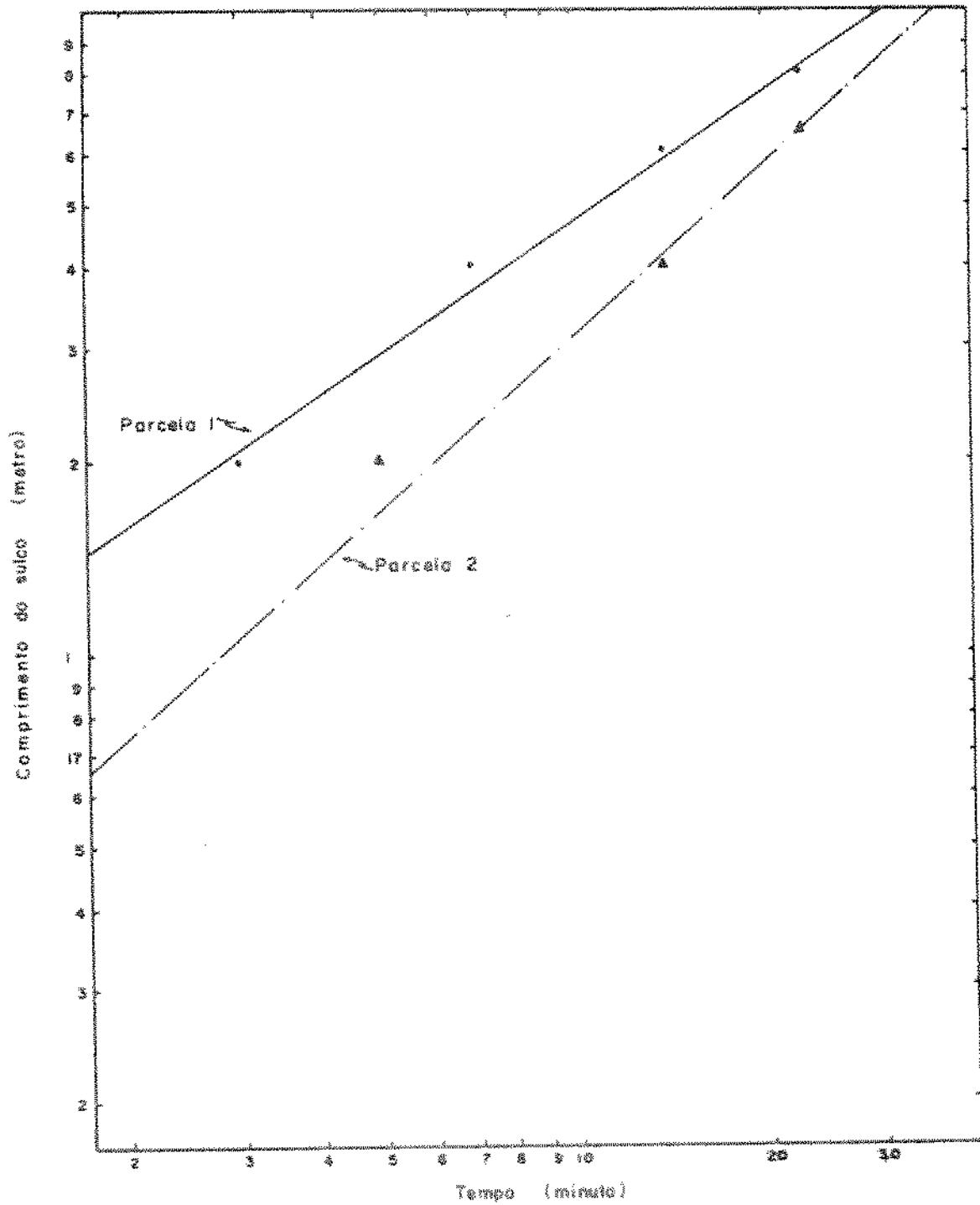


Figura 4 - Curvas de avanço para o Perímetro irrigado de Sumé para as parcelas 1 e 2.

declividade são maiores do que na parcela 2 (ver Tabela 5). Isto vai contribuir para que o tempo gasto na parcela 1, para percorrer a distância de 65 metros, seja menor do que o da parcela 2. A Tabela 3 do Apêndice, indica solos de textura arenosa e franco arenosa, para as parcelas 1 e 2, respectivamente. Embora o solo da parcela 1 tenha uma capacidade de infiltração um pouco maior do que na parcela 2, o que poderia fazer pensar que o avanço seria maior nesta última parcela, parece ser que o efeito das variáveis declividade e vazão de entrada são mais relevantes.

TABELA 5 - EQUAÇÕES DE AVANÇO E COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO PARA O PERÍMETRO IRRIGADO DE SUMÉ

PARCELA	DECLIVIDADE MÉDIA (%)	VAZÃO APLICADA (l/seg.)	EQUAÇÃO AVANÇO $X = pT_x^s$	COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R^2)
1	0,642	0,77	$9,91T^{0,679}$	0,995
2	0,433	0,62	$3,95T^{0,896}$	0,996

Quanto aos coeficientes de determinação, estes se comportaram da mesma forma como os dois perímetros antes estudados. Mostrando que as variações nas curvas de avanço,

dependem na sua maioria do tempo e que a equação apresentada, muito bem representa a curva de avanço.

4 - CURVA DE INFILTRAÇÃO

Os parâmetros das equações de infiltração acumulada e velocidade de infiltração, para os três perímetros irrigados são apresentados na tabela 10 do Apêndice.

Os testes de infiltração foram realizados quando o conteúdo de água do solo era o mesmo do reinício das irrigações. Analisando-se a tabela 10 do Apêndice, verifica-se que o Perímetro Irrigado de Sumé, foi o que apresentou a mais alta velocidade de infiltração, ficando a mais baixa para o perímetro irrigado de São Gonçalo.

TABELA 6 - LÂMINAS DERIVADAS E TEMPOS NECESSÁRIOS PARA SUA INFILTRAÇÃO

PERÍMETRO IRRIGADO	PARCELA	LÂMINA APLICADA (mm)	TEMPO NECESSÁRIO P/INFILT. (min)	TEMPO DE APLICAÇÃO (min)
Engenheiro Arcoverde	1	28,0	140,0	22,0
	2	14,0	48,0	28,0
	3	15,0	30,0	30,0
São Gonçalo	1	32,0	617,0	125,0
	2	50,0	435,0	51,0
	3	18,0	339,0	47,0
Sumê	1	10,0	2,8	30,0
	2	12,6	1,7	22,0

Análises da tabela 6, permite observar que os tempos necessários para a infiltração das lâminas d'água aplicadas no Perímetro Irrigado Engenheiro Arcoverde foram superiores aos tempos de aplicação, nas parcelas 1 e 2. Mas, não se verificou perda por escoamento superficial, havendo apenas perda por percolação profunda. Para o Perímetro Irrigado de São Gonçalo, as lâminas aplicadas permaneciam sobre o solo durante tempo bastante longo. Neste perímetro, os sulcos eram fechados, não havendo portanto perda por escoamento superficial. No fi

nal de cada parcela, existia um excesso de água no solo em virtude, da grande quantidade de água que ali ficava estacionada e que depois se infiltrava. No Perímetro Irrigado de Sumê, a água aplicada era totalmente infiltrada duante o tempo de aplicação da mesma.

B - AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO
D'ÁGUA

1 - PERÍMETRO IRRIGADO ENGENHEIRO ARCOVERDE

A Figura 5, apresenta a distribuição do conteúdo de água ao longo dos sulcos, antes e depois de se irrigar, para as parcelas 1, 2 e 3 do Perímetro Irrigado Engenheiro Arcoverde, respectivamente. Tal informação, foi usada para a determinação dos volumes de água armazenados e eficiência de aplicação.

Analisando a Figura 5, nota-se que na parcela 2, a fração do volume de água fornecido é a mesma e que ficou armazenado no solo na faixa explorada pelas raízes das plantas, é muito pequena. Grande parte deste volume foi desperdiçado, percolando para as camadas mais profundas. As irrigações nesta parcela, foram efetuadas quando grande parte do solo estava com um teor de água próximo ou acima da capacidade de campo. Assim, a água fornecida, em grande maioria, era perdida, diminuindo, conseqüentemente, a eficiência de aplicação.

Nas parcelas 3 e 1, à medida que aumenta as

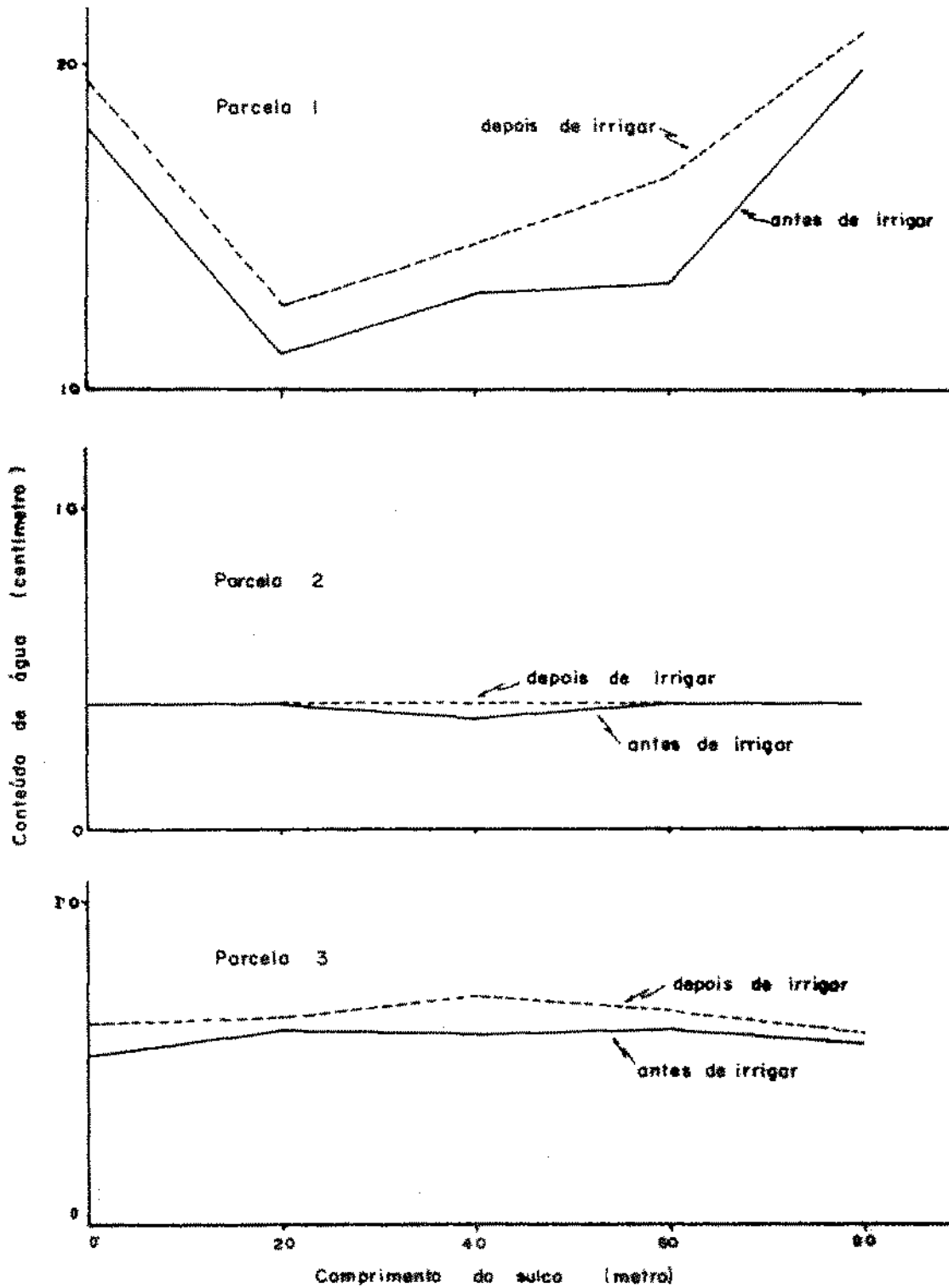


Figura 5 - Distribuição do conteúdo de água ao longo do sulco para o Perímetro Irrigado Engenheiro Arcoverde

frações dos volumes de água fornecidos e que ficaram armazenados no solo, aumentam também as eficiências de aplicação de água. (Ver Tabela 7)

A tabela 7, apresenta os volumes de água derivados e os armazenados, eficiências de aplicação e coeficientes de variação das lâminas armazenadas e das declividades encontradas para o Perímetro Irrigado Engenheiro Arcoverde.

TABELA 7 - VOLUMES DE ÁGUA DERIVADOS E ARMAZENADOS, EFICIÊNCIAS DE APLICAÇÃO E COEFICIENTES DE VARIAÇÃO DAS LÂMINAS ARMAZENADAS E DAS DECLIVIDADES.

PARCELA	VOLUME DERIVADO (m ³)	VOLUME ARMAZENADO (m ³)	EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO (%)	COEF. DE VARIAÇÃO (%)	
				L.Arm.	Decliv.
1	4,488	2,794	62,25	44	68
2	2,318	0,172	7,42	200	154
3	2,376	1,214	51,09	29	46

Analisando a tabela 7, conclui-se que, à medida que diminui o coeficiente de variação da declividade média de parcela, diminui o coeficiente de variação da lâmina d'água armazenada ao longo do sulco. Pode-se, portanto, afirmar que, quanto maior for a irregularidade na superfície do solo, mais desuniforme será a lâmina de água armazenada.

A eficiência de aplicação encontrada, foi de 62,25, 7,42 e 51,09% para as parcelas 1, 2 e 3, respectivamente. A eficiência média do perímetro foi de 40,25.

A parcela 2, foi a que apresentou a mais baixa eficiência de aplicação (7,42%). Isto se justifica, devido ser: i) esta parcela foi a que apresentou um dos mais altos coeficientes de variação nas declividades (154%), isto contribuiu para que existisse ao longo do sulco, estancamento de água, acarretando maiores infiltrações nestes pontos, dando uma maior perda por percolação profunda, produzindo uma diminuição na eficiência de aplicação de água. ii) como já foi discutido anteriormente, de acordo com a Figura 5, pode-se observar que nesta parcela, as irrigações foram processadas quando grande parte do solo se encontrava com um conteúdo de água superior à capacidade de campo. Isto fez com que a água fornecida não ficasse armazenada no solo, na faixa explorada pelas raízes. Houve, portanto, um desperdício de água, por percolação profunda, ocasionando, conseqüentemente, uma redução na eficiência de aplicação da água de irrigação. iii) a textura do solo era arenosa, com uma grande capacidade de infiltração de água tabela 6, favorecendo assim a percolação profunda.

Apesar de serem os coeficientes de variação para as declividades e lâminas armazenadas, menores na parcela 3 do que na 1, a eficiência de aplicação de água na parcela 1

(62,25%), foi superior a da parcela 3 (51,09%). Pode-se concluir que na terceira parcela, as irrigações eram reiniciadas quando o solo ainda dispunha de uma percentagem de água disponível maior do que na primeira, ocasionando maior perda de água por percolação profunda. Tal fato pode ser verificado na Figura 5.

2 - PERÍMETRO IRRIGADO DE SÃO GONÇALO

A Figura 6, apresenta a distribuição do conteúdo de água ao longo dos sulcos, antes e depois de se irrigar para as parcelas 1, 2 e 3 do Perímetro Irrigado de São Gonçalo, respectivamente. Tal informação foi usada para determinação dos volumes de água armazenados e eficiências de aplicação.

Estudando-se a Figura 6, nota-se que as frações dos volumes de água fornecidos e que ficaram armazenados no solo à disposição das raízes das plantas, foram bastante grandes. As irrigações eram iniciadas quando a porcentagem de água no solo estava abaixo da capacidade de campo, excessão feita apenas aos últimos 35 metros da parcela 3.

A tabela 8, apresenta os volumes d'água derivados e armazenados, eficiências de aplicação e coeficientes de

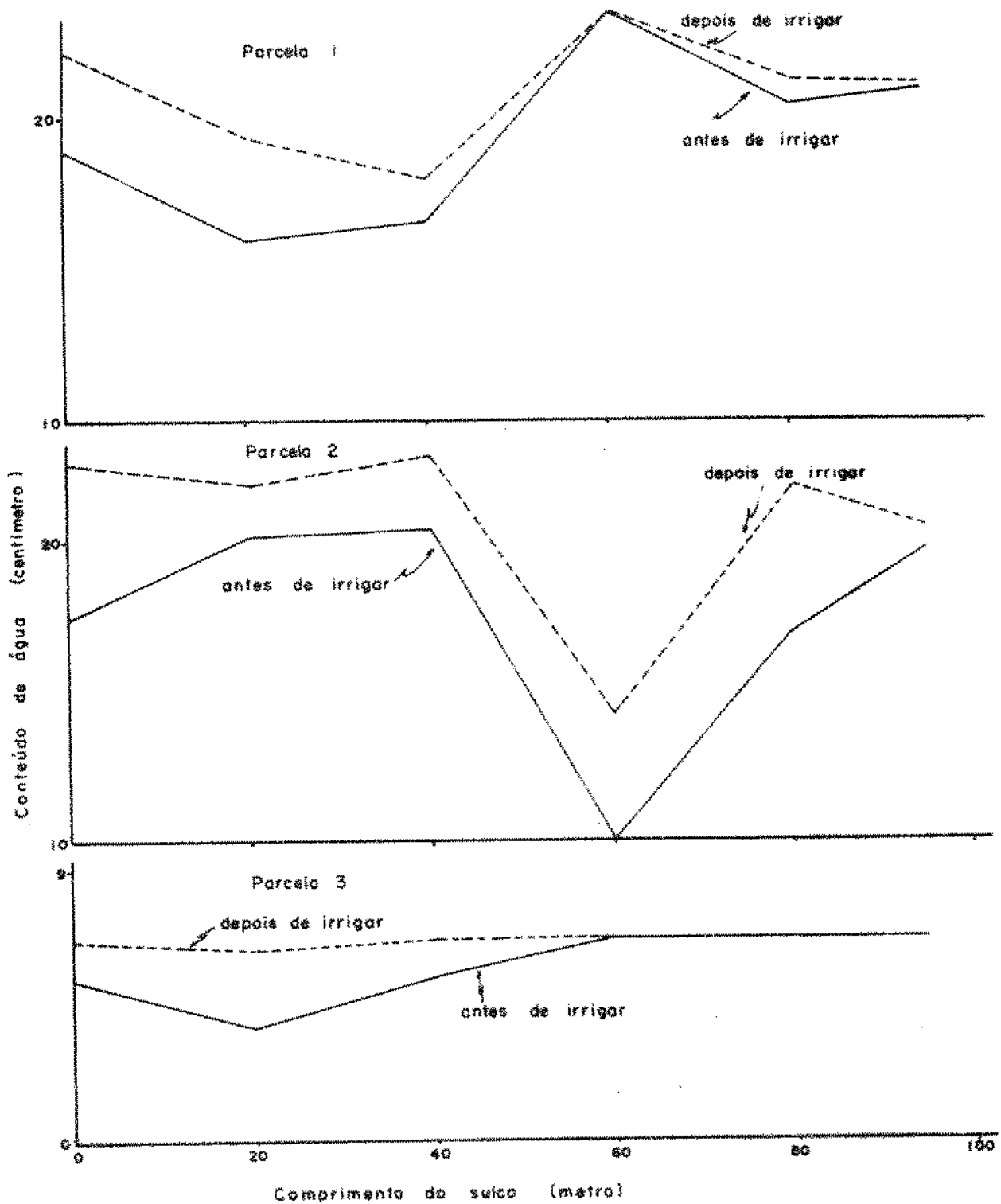


Figura 6 - Distribuição do conteúdo de água ao longo do sulco para o Perímetro Irrigado de São Gonçalo.

variação das lâminas e das declividades para o Perímetro Irrigado de São Gonçalo.

TABELA 8 - VOLUMES DE ÁGUA DERIVADOS E ARMAZENADOS, EFICIÊNCIAS DE APLICAÇÃO E COEFICIENTES DE VARIAÇÃO DAS LÂMINAS ARMAZENADAS E DAS DECLIVIDADES.

PARCELA	VOLUME DERIVADO (m ³)	VOLUME ARMAZENADO (m ³)	EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO (%)	COEF. DE VARIAÇÃO (%)	
				L.Arm.	Decliv.
1	6,000	3.100	51,66	90	172
2	9,486	4,834	50,96	83	134
3	3,523	1,794	50,92	111	97

De acordo com a tabela 8, verifica-se que nas parcelas 1 e 2, os coeficientes de variação nas declividades, aumentam à medida que crescem os coeficientes de variação das lâminas armazenadas, confirmando a afirmação feita para o Perímetro Irrigado Engenheiro Arcoverde. A parcela 3 não obedeceu a esta variação. Mas estudando-se a Figura 6, como já foi antes discutido, nota-se que as lâminas d'água armazenadas, nas três últimas estações, que correspondem aos últimos 35 metros de sulcos, foram nulas. Portanto, o alto grau de desuniformidade nas lâminas d'água armazenadas na parcela 3, deveu-se mais

ao conteúdo de água existente no solo antes da irrigação, do que a irregularidade de topografia do terreno.

A eficiência de aplicação de água de irrigação observada foi de 51,66, 50,96 e 50,92% para as parcelas 1, 2 e 3, respectivamente. A eficiência de aplicação média para o Perímetro Irrigado de São Gonçalo, foi de 51,18%.

3 - PERÍMETRO IRRIGADO DE SUMÉ

A Figura 7, apresenta a distribuição do conteúdo de água ao longo dos sulcos, antes e depois de se irrigar para as parcelas 1 e 2 do Perímetro Irrigado de Sumé, respectivamente. Tal informação foi usada para determinação dos volumes de água armazenados e eficiências de aplicação.

Uma análise na Figura 7, permite observar que nas duas parcelas estudadas, as irrigações foram reiniciadas quando o conteúdo de água existente no solo estava abaixo da capacidade de campo. As frações dos volumes de água derivados que ficaram armazenados no solo, foram bastante altos, acarretando, logicamente, uma alta eficiência de aplicação.

A tabela 9, apresenta os volumes de água derivados e armazenados, eficiências de aplicação e coeficientes de

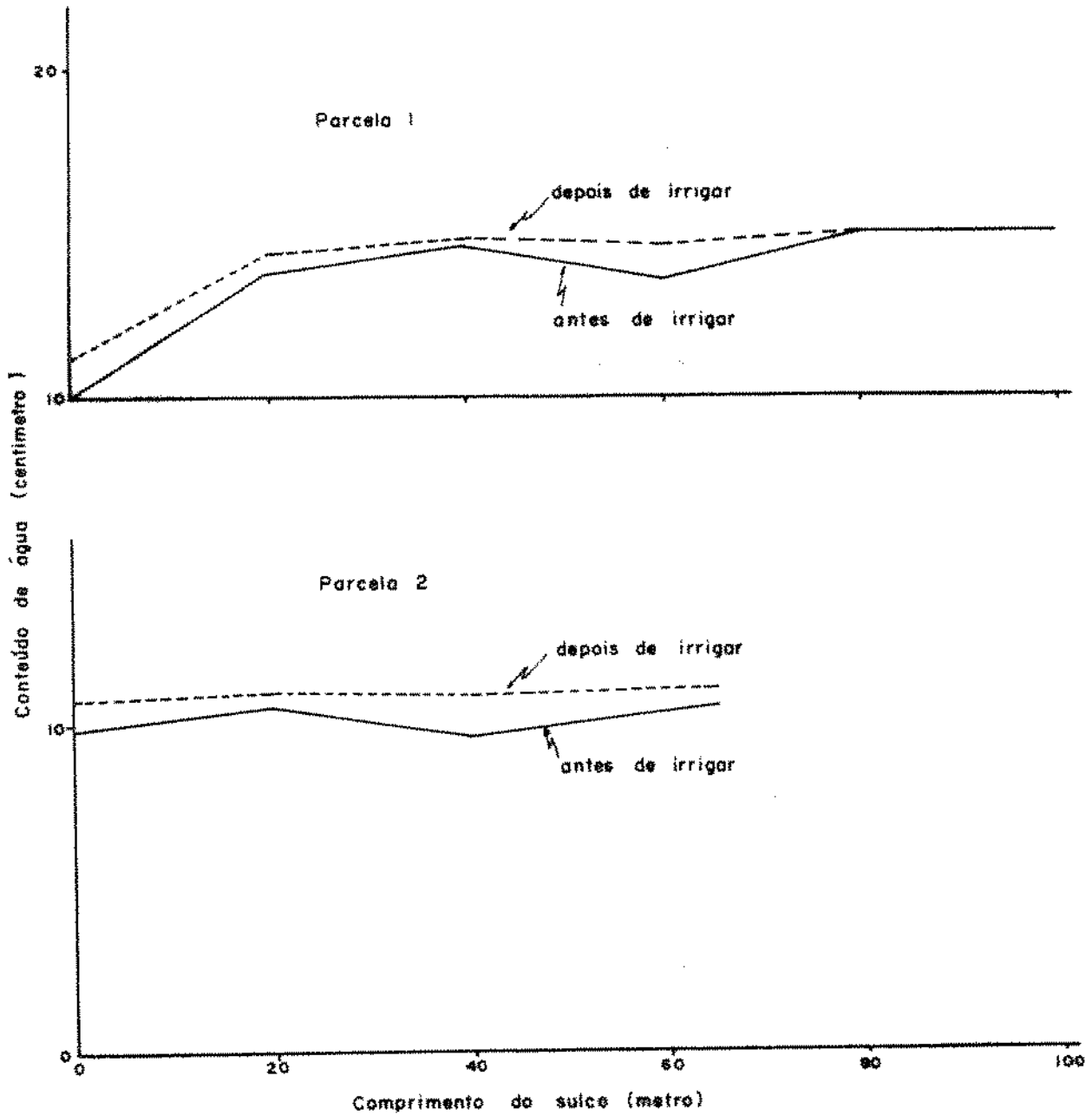


Figura 7 - Distribuição do conteúdo de água ao longo do sulco para o Perímetro Irrigado de Sumé.

variação das lâminas derivadas e das declividades para o Perímetro Irrigado de Sumê.

TABELA 9 - VOLUMES DERIVADOS E ARMAZENADOS, EFICIÊNCIAS DE APLICAÇÃO E COEFICIENTES DE VARIAÇÃO DAS LÂMINAS ARMAZENADAS E DAS DECLIVIDADES.

PARCELA	VOLUME DERIVADO (m ³)	VOLUME ARMAZENADO (m ³)	EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO (%)	COEF. DE VARIAÇÃO (%)	
				L.Arm.	Decliv.
1	1,294	0,638	49,30	104	62
2	0,818	0,496	60,63	37	84

Estudando a tabela 9, nota-se que para este perímetro irrigado, não existe a relação antes estabelecida entre os coeficientes de variação das lâminas armazenadas e das declividades. A relação entre os dois coeficientes foi provavelmente afetada pelo conteúdo de água que existia no solo, antes de irrigação, o qual possivelmente afetou os coeficientes das lâminas da água armazenadas no solo ao longo do sulco.

Quanto ao conteúdo de água que existia no solo antes de irrigar, apenas na parcela 1, este estava bem pró-

ximo à capacidade de campo, em alguns pontos ao longo do sulco, diminuindo, portanto, a eficiência de aplicação. No Perímetro Irrigado de Sumê, foram observadas eficiências de aplicação de 49,30 e 60,63% para as parcelas 1 e 2, respectivamente. A eficiência média foi de 54,96%, a mais alta dos três perímetros analisados.

Segundo Boers, citado por AZEVEDO (1975), a eficiência de aplicação de água nos projetos de irrigação por sulcos no Nordeste do Brasil, varia entre 20 e 40%, baseado em medições realizadas nos lotes de colonos do Projeto de Irrigação de Bebedouro, Petrolina-Pe. A eficiência de aplicação média encontrada, nos três perímetros estudados foi de 48,77%. Este valor é bastante superior à média estabelecida para a região. Pode-se afirmar, assim, que a técnica utilizada pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas-DNOCS, na aplicação de água nos projetos de irrigação do Estado da Paraíba, é superior à aplicada nos demais perímetros irrigados, espalhados na região. No entanto GRASSI (1975), indica que a eficiência de aplicação de água, para o sistema de irrigação por sulco, em solos de textura média com problemas de declividade, está em torno de 55% e para solos de textura média, profundo, nivelção adequada a eficiência de aplicação de água em sulcos pode atingir 65 por cento. Assim sendo, a eficiência encontrada para os perímetros irrigados do Estado da Paraíba, é 0,89 do va-

lor ideal para solos com problema de declividade e 0,75 do valor máximo para solo bem nivelados.

Aumentando-se a eficiência, não só na aplicação como também na condução da água, pode-se com a mesma quantidade de água, irrigar uma área maior, além de diminuir os problemas de drenagem e salinidade devidos ao manejo deficiente e aplicação descontrolada da água de irrigação.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A análise dos resultados, permite concluir e recomendar o seguinte:

- 1 - As eficiências médias de aplicação da água de irrigação, foram de 40,25, 51,18 e 54,96 por cento para os Perímetros Irrigados de Engenheiro Arcoverde, São Gonçalo e Sumê, respectivamente. A eficiência média para os três perímetros foi de 48,77 por cento.
- 2 - As eficiências de aplicação encontradas, foram grandemente afetadas pela desuniformidade na distribuição das lâminas de água armazenadas no solo. Esta irregularidade foi revelada mediante a determinação dos coeficientes de variação das lâminas que variaram entre 29 e 200 por cento.

- 3 - O fato da desuniformidade nas lâminas de água armazenadas nos solos, foi devido a micro-topografia do terreno ser bastante irregular, possivelmente como consequência do abatimento das partes aterradas, resultante de uma inadequada sistematização. Isto foi mostrado através dos coeficientes de variação das declividades médias das parcelas que oscilaram entre 46 e 172 por cento.
- 4 - Na grande maioria das parcelas estudadas, as irrigações foram reiniciadas quando o teor de água do solo estava ainda próximo ou mesmo acima da capacidade de campo. Isto contribuiu em muito para diminuir a eficiência de aplicação de água, devido a grande perda por percolação profunda.
- 5 - As vazões de entrada aplicadas, foram bastantes diferentes, dentro de um mesmo perímetro. Em alguns casos, estas foram superiores as vazões máximas não erosivas, calculadas teoricamente.
- 6 - Com a finalidade de racionalizar o manejo da irrigação e aumentar a eficiência da aplicação da água nos Perímetros de Irrigação avaliados, recomenda-se:
 - Antes da irrigação, realizar uma adequada sistematização do solo, de tal forma a obter-se sulcos com declividades uniformes com o objetivo de evitar problemas de desuniformidade na distribuição da lâmina de água armazenada no solo.

- Programar adequadamente as irrigações de tal forma que evite excessiva aplicação e consequentes perdas de água.

7 - Inferências deste trabalho poderá servir para introduzir práticas de manejo de água e de solo em outras áreas, com o fim de evitar perdas de água, solo e nutrientes e prevenir uma possível contaminação das águas superficiais e subterrâneas, por escoamento superficial e percolação profunda, respectivamente.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
Pró-Reitoria para Assuntos do Interior
Coordenação Setorial de Pós-Graduação
Rua Aprígio Veloso, 882 - 7-1 (333) 321-7222-R 355
58 100 - Campus Grande - Paraíba

B I B L I O G R A F I A

- AZEVEDO, Hamilton Medeiros. Características da Infiltração em Sulcos Abertos e Fechados. Campina Grande-Pb, Universidade Federal da Paraíba - Centro de Ciências e Tecnologia, 1975.
- BUCKMAN, Harry O. & BRADY, Nyle. Natureza e Propriedades dos Solos. 39 ed. Rio de Janeiro, Livraria Freitas Bastos S.A. , 1974.
- CRIDDLE, W.D.S., DAVIS, C.H. PAIR & D.G. SHOCKLEY. Methods For Evaluating Irrigation Systems. Agricultural Handbook 82. Soil Conservation Service. United States Department of Agriculture, Washington, 1956.
- COMISIÓN INTERNACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE . Eficiencia de Riego. Memorandum Tecnico, México, 333:1-55, Sept. 1974.
- DAKER, Alberto. Classificação, Constantes e Movimento de Água no solo, Quantidade a ser Aplicada, Turno e Duração de Rega, Irrigação nos Diferentes Períodos Vegetativos da Planta. In: Curso de Especialização em Irrigação. Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Hidráulica da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 1973, Cap. II, p.87.

- DAY, Paul R. Particle Fractionation and Particle-size Analysis. In: Black, C.A. ed. Methods of Soil Analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965, p.546-67.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS. Projeto Sumé. Recife, DNOCS, 1969.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS. Projeto Engenharia Arcoverde. Recife, DNOCS, 1971, Vol. I & II.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS. Irrigação e Drenagem. São Paulo, Hidroservice-Engenharia de Projetos Ltda. 1971, Vol. V.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS. Recuperação Hidroagrícola da Bacia de Irrigação de São Gonçalo. São Paulo, Hidroservice-Engenharia de Projetos Ltda., 1971, Vol. II.
- GRASSI, C. J. Metodos de Riego. CIDIAT, 1975.
- GRASSI, C. J. Estimación de los Usos Consuntivos de Agua y Requerimiento de Riego con Fines de Formulación y Diseños de Proyectos. Merida, CIDIAT, 1968.
- GOMES, Frederico Pimentel. Curso de Estatística Experimental - 5ª ed. São Paulo, Livraria Nobel S.A., 1973.
- ISRAELSEN, O. W. et alii. Water Application Efficiencies in Irrigation. Logan, Utah, Agricultural Experiment Station, Bulletin 311, March 1944. 55p.

- ISRAELSEN, O. W. & HANSEN, V. E. Principios e Aplicaciones del Riego. Barcelona, Editora Reverté, S.A., 1965.
- JENSEN, Marvin et alii. Improving Irrigation Efficiencies. In: Agronomy Monograph Nº 11. Irrigation of Agricultural Lands. American Society of Agronomy, 1967. Chap.61 p.1120.
- LAROCHE, François Alberto. Recursos de Água e Solos e o Programa de Irrigação do Nordeste. Recife-Pe, MINTER/SUDENE, 1973.
- LINDERMAN, C. L. An Analysis of Factors Affecting Surface Irrigation Application. Fargo, N.D. North Dakota State University, 1968.
- LOPES, Javier E. Riego por Surco. Petrolina-Pe, MINTER/IICA / CIDIAT, 1973.
- NETTO, J. M. de Azevedo, Manual de Hidráulica. São Paulo, Editora Edgard Clucher Ltda, 1969.
- OLIVIER, Henry. Irrigation and Water Resources Engineering. New York, Craner Russak, 1971.
- POIRÉE, Maurice & OLLIER, Charles. El Regadío. Redes, Teoría, Técnica y Economía de los Riegos. 2ª ed. Barcelona, Editores Técnicos Asociados, S.A., 1970.
- SIMDES, Antônio. Eficiência de Irrigação. Petrolina-Pe, MINTER/IICA/CIDIAT, 1973.
- THORNE, D. W. & PETERSON, H.B. Técnica de Riego Fertilidad y

Explotación de los Suelos. 4ª ed. México, Compañía Editorial Continental, S.A., 1969.

VIEIRA, Dirceu Brasil. Noções de Irrigação e Drenagem. Limeira - SP, Departamento de Hidráulica e Saneamento da Faculdade de Engenharia de Limeira, 1971.

WILLADEON, Lyman S. et alii. Analises de la Eficiencia de la Aplicacion del Riego Superficial. (Analysis of Surface Irrigation Application Efficiency). Memorandum Tecnico, México, 248:1-33, Ago. 1967.

ZIMMERMAN, J.D. El Riego. México, Compañía Editorial Continental S.A., 1970.

A P E N D I C E

TABELA 1 - DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DAS PARTÍCULAS PARA O PERÍMETRO IRRIGADO ENGE -
NHEIRO ARCOVERDE

PARCELA	PROFUNDIDADE cm	ARGILA %	SILTE %	AREIA %	CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL
1	00-20	19	5	76	Franco arenoso
	20-40	22	8	70	Franco argilo arenoso
	40-60	25	8	67	Franco argilo arenoso
	60-80	22	12	66	Franco argilo arenoso
	80-100	24	9	67	Franco argilo arenoso
	100-120	24	10	66	Franco argilo arenoso
2	00-20	10	5	85	Arenoso
	20-40	8	3	89	Areia
	40-60	9	4	87	Arenoso
	60-80	9	6	85	Areia
	80-100	16	11	73	Franco arenoso
	100-120	19	15	66	Franco arenoso
3	00-20	27	17	56	Franco argilo arenoso
	20-40	25	19	56	Franco argilo arenoso
	40-60	20	9	71	Franco argilo arenoso
	60-80	24	16	60	Franco argilo arenoso
	80-100	17	13	70	Franco arenoso
	100-120	15	11	74	Franco arenoso

TABELA 2 - DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DAS PARTÍCULAS PARA O PERÍMETRO IRRIGADO DE SÃO GONÇALO

PARCELA	PROFUNDIDADE cm	ARGILA %	SILTE %	AREIA %	CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL
1	00-20	19	19	62	Franco arenoso
	20-40	34	28	38	Franco argiloso
	40-60	17	41	42	Franco
	60-80	29	22	49	Franco argiloso
	80-100	24	21	55	Franco argilo arenoso
	100-120	27	23	50	Franco argilo arenoso
2	00-20	16	20	64	Franco arenoso
	20-40	27	22	51	Franco argilo arenoso
	40-60	40	33	27	Argiloso
	60-80	38	35	27	Franco argiloso
	80-100	39	12	49	Franco argiloso
	100-120	38	29	33	Franco argiloso
3	00-20	24	19	57	Franco argilo arenoso
	20-40	12	11	77	Franco arenoso
	40-60	15	9	76	Franco arenoso
	60-80	18	10	72	Franco arenoso
	80-100	14	17	69	Franco arenoso
	100-120	21	14	65	Franco argilo arenoso

TABELA 3 - DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DAS PARTÍCULAS PARA O PERÍMETRO IRRIGADO DE SUMÉ

PARCELA	PROFUNDIDADE cm	ARGILA %	SILTE %	AREIA %	CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL
1	00-20	8	8	84	Arenoso
	20-40	10	8	82	Arenoso
	40-60	12	17	71	Franco arenoso
	60-80	10	16	74	Franco arenoso
	80-100	15	14	61	Franco arenoso
	100-120	20	33	47	Franco
2	00-20	15	9	76	Franco arenoso
	20-40	15	8	77	Franco arenoso
	40-60	14	8	78	Franco arenoso
	60-80	9	7	84	Arenoso
	80-100	3	5	92	Areia
	100-120	9	4	87	Arenoso

TABELA 4 - CAPACIDADE DE CAMPO, UMIDADE DE MURCHAMENTO E DENSIDADE APARENTE PARA O PERÍMETRO IRRIGADO ENGENHEIRO ARCOVERDE.

PARCELA	PROFUNDIDADE cm	CAPACIDADE DE CAMPO %	UMIDADE DE MUR- CHAMENTO %	DENSIDADE APARENTE g/cm ³
1	00-20	13,8	4,3	1,426
	20-40	8,2	3,4	1,407
	40-60	15,4	4,4	1,332
	60-80	10,2	3,7	1,471
	80-100	19,4	6,8	1,421
	100-120	21,8	7,4	1,407
2	00-20	21,1	7,8	1,590
	20-40	26,7	10,7	1,665
	40-60	27,4	12,0	1,410
	60-80	27,0	11,6	1,434
	80-100	27,6	10,3	1,505
	100-120	24,8	10,3	1,884
3	00-20	23,3	11,2	1,603
	20-40	22,6	10,4	1,526
	40-60	21,4	9,1	1,682
	60-80	23,3	11,6	1,613
	80-100	20,2	8,2	1,686
	100-120	23,0	7,9	1,740

TABELA 5 - CAPACIDADE DE CAMPO, UMIDADE DE MURCHAMENTO E DENSIDADE APARENTE PARA O PERÍMETRO IRRIGADO DE SÃO GONÇALO

PARCELA	PROFUNDIDADE cm	CAPACIDADE DE CAMPO %	UMIDADE DE MUR- CHAMENTO %	DENSIDADE APARENTE g/cm ³
1	00-20	22,7	8,5	1,549
	20-40	27,6	15,3	1,407
	40-60	27,5	16,2	1,591
	60-80	26,6	13,3	1,523
	80-100	27,0	12,2	1,538
	100-120	27,2	13,1	1,566
2	00-20	23,2	11,8	1,502
	20-40	16,4	6,6	1,684
	40-60	18,0	6,9	1,742
	60-80	19,2	7,6	1,770
	80-100	20,5	9,7	1,781
	100-120	21,7	8,9	1,832
3	00-20	23,0	8,8	1,386
	20-40	26,8	12,3	1,580
	40-60	32,2	18,7	1,518
	60-80	28,2	17,8	1,529
	80-100	33,5	16,9	1,438
	100-120	28,0	17,2	1,469

TABELA 6 - CAPACIDADE DE CAMPO, UMIDADE DE MURCHAMENTO E DENSIDADE APARENTE PARA O PERÍMETRO IRRIGADO DE SUMÉ

PARCELA	PROFUNDIDADE cm	CAPACIDADE DE CAMPO %	UMIDADE DE MUR CHAMENTO %	DENSIDADE APARENTE g/cm ³
1	00-20	15,8	5,4	1,441
	20-40	17,3	6,9	1,517
	40-60	17,8	7,0	1,284
	60-80	16,1	5,9	1,471
	80-100	20,7	8,8	1,591
	100-120	22,2	11,0	1,636
2	00-20	21,0	6,2	1,660
	20-40	17,8	6,7	1,466
	40-60	18,4	5,7	1,571
	60-80	16,2	2,7	1,549
	80-100	7,5	4,7	1,528
	100-120	14,6	5,6	1,622

TABELA 7 - DECLIVIDADE DA PARCELA 1 NOS PERÍMETROS IRRIGADOS COM DUAS REPETIÇÕES
(PORCENTAGEM)

DISTÂNCIA (m)	PERÍMETRO IRRIGADO					
	ENG. ARCOVERDE		SÃO GONÇALO		SUMÉ	
	REPETIÇÕES		REPETIÇÕES		REPETIÇÕES	
	I	II	I	II	I	II
0 + 00	-	-	-	-	-	-
0 + 20	0,090	0,475	0,285	-0,300	0,235	0,050
0 + 40	0,410	0,150	-0,660	0,200	0,125	0,310
0 + 60	1,050	1,550	0,510	0,025	0,990	0,975
0 + 80	1,450	1,150	0,655	0,375	1,085	0,700
0 + 95	-	-	0,585	1,215	-	-
1 + 00	-	-	-	-	0,825	1,125
Média	-	0,791	-	0,287	-	0,642
Desvio Padrão	-	0,542	-	0,496	-	0,398
Codf. de Variação	-	68	-	172	-	62

TABELA 8 - DECLIVIDADE DA PARCELA 2 NOS PERÍMETROS IRRIGADOS COM DUAS REPETIÇÕES (PORCENTAGEM)

DISTÂNCIA (m)	PERÍMETRO IRRIGADO					
	ENG. ARCOVERDE		SÃO GONÇALO		SUMÉ	
	REPETIÇÕES		REPETIÇÕES		REPETIÇÕES	
	I	II	I	II	I	II
0 + 00	-	-	-	-	-	-
0 + 20	0,045	0,025	0,960	0,335	0,000	0,425
0 + 40	-0,550	-0,275	-0,625	-0,335	1,040	0,865
0 + 60	0,800	0,615	0,205	0,300	-	-
0 + 65	-	-	-	-	0,955	0,177
0 + 80	0,950	0,760	1,010	0,600	-	-
0 + 95	-	-	0,550	0,650	-	-
Média		0,296		0,365		0,433
Desvio Padrão		0,210		0,491		0,368
Coef. de Variação		154		134		84

TABELA 9 - DECLIVIDADE DA PARCELA 3 NOS PERÍMETROS IRRIGADOS COM DUAS REPETIÇÕES (PORCENTAGEM)

DISTÂNCIA (m)	PERIMETRO IRRIGADO					
	ENG. ARCOVERDE		SÃO GONÇALO		SUMÉ	
	REPETIÇÕES		REPETIÇÕES		REPETIÇÕES	
	I	II	I	II	I	II
0 + 00	-	-	-	-	-	-
0 + 20	0,175	0,175	0,275	0,150	-	-
0 + 40	0,675	0,800	-0,250	-0,300	-	-
0 + 60	1,000	1,075	0,350	0,475	-	-
0 + 80	0,925	0,900	0,750	1,115	-	-
0 + 95	-	-	0,750	0,185	-	-
Média	-	0,716	-	0,385	-	-
Desvio Padrão	-	0,332	-	0,385	-	-
Coef. de Variação	-	46	-	105	-	-

TABELA 10 - PARÂMETROS DAS EQUAÇÕES DE INFILTRAÇÃO ACUMULADA E VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO PARA OS TRÊS PERÍMETROS DE IRRIGAÇÃO ESTUDADOS

PERÍMETRO IRRIGADO	PARCELA	INFILTRAÇÃO ACUMULADA		VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO	
		m	c	k	n
Engenheiro Arcoverde	1	0,617	0,132	4,887	-0,383
	2	0,690	0,097	4,016	-0,310
	3	0,947	0,059	3,352	-0,053
São Gonçalo	1	0,530	0,105	3,339	-0,470
	2	0,724	0,054	2,356	-0,276
	3	0,524	0,085	2,672	-0,476
Sumê	1	0,931	0,398	22,232	-0,069
	2	0,733	0,855	37,603	-0,267