

AVALIAÇÃO DA IRRIGAÇÃO LOCALIZADA SISTEMA XIQUEXIQUE

WANDERLEY CATUBA RODRIGUES MENDES

DISSERTAÇÃO APRESENTADA À COORDENAÇÃO DO
CURSO DE Mestrado EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO
GRAU DE MESTRE
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

FORTALEZA - 1989

Esta Dissertação foi submetida como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Irrigação e Drenagem, outorgado pela Universidade Federal do Ceará, e encontra-se à disposição dos interessados na Biblioteca Central da referida Universidade.

A citação de qualquer trecho desta Dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

Wanderley Catuba Rodrigues Mendes

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 27.10.89

Prof. Francisco de Souza, PhD
- Orientador -

José Osório Costa, MS
- Conselheiro -

Paulo Theodoro de Castro, MS
- Conselheiro -

O deserto e a terra árida alegrar-se-ão,
o ermo exultará e florescerá como o narciso;
porque as águas jorrarão no deserto, as tor-
rentes na estepe, e a terra árida se converte-
rá em fontes.

(ISAÍAS, cap. 35, vers. 01, 02, 06 e 07)

À minha esposa, Rosiléa

Aos meus pais, Tupany (em memória) e
Antonieta

Aos meus filhos, Débora Mara, Denise
Maria, Danielle e Carlos Alexandre,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento Nacional de Obras Contra as Secas-DNOCS, a oportunidade do Curso ã mim concedida.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa Científica e Tecnológica - CNPq, a bolsa como aluno de Mestrado, garantindo-me a condição de aquisição de materiais do curso, além do estímulo.

À Coordenação e Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior-CAPEES.

Ao Prof. Francisco de Souza, as orientações seguras, oportunas e de forma dedicada.

Aos Professores Osório Costa e Paulo Theodoro, a co-orientação da elaboração da Tese.

A todos os pesquisadores do Departamento de Engenharia Agrícola da UFC por seus ensinamentos valiosos.

A todos os servidores do Departamento de Engenharia Agrícola da UFC, Curso de Mestrado em Irrigação e Drenagem, por suas colaborações expressivas e oportunas.

A todos os colegas de Curso, pela amizade.

SUMÁRIO

	Página
<u>LISTA DE TABELAS</u>	viii
<u>LISTA DE TABELAS EM ANEXO</u>	xi
<u>LISTA DE FIGURAS</u>	xiii
<u>RESUMO</u>	xvi
<u>ABSTRACT</u>	xvii
1 - <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2 - <u>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1 - <u>Considerações básicas sobre a irrigação localizada</u>	3
2.1.1 - <u>Características</u>	4
2.1.2 - <u>Vantagens e Desvantagens</u>	6
2.2 - <u>Concepção do sistema de irrigação xique-xique</u>	9
2.3 - <u>Avaliação da irrigação localizada</u>	10
2.3.1 - <u>Fatores que afetam a qualidade da irrigação</u>	11
2.3.2 - <u>Conceitos de eficiência e uniformidade</u>	18
3 - <u>MATERIAIS E MÉTODOS</u>	24
3.1 - <u>O ambiente da pesquisa</u>	24
3.2 - <u>Obtenção dos dados de campo</u>	25
3.3 - <u>Cálculo das características Hidráulicas do emissor</u>	27
3.4 - <u>Parâmetros de uniformidade e eficiência, segundo a metodologia de Karmeli e Keller (1975)</u>	28
4 - <u>RESULTADOS E DISCUSSÕES</u>	41
4.1 - <u>Características hidráulicas do emissor</u> ..	48
4.2 - <u>A performance do sistema</u>	48
4.2.1 - <u>A uniformidade de emissão (UE) e uniformidade de emissão absoluta (UEa)</u> ...	48

4.2.2 - Avaliação da uniformidade, através do modelo matemático proposto por KARMELI et alii (1978).	52
4.2.3 - A uniformidade de aplicação, calculada com base no coeficiente de variação de fabricação do emissor (CVF)	61
4.2.4 - As eficiências de aplicação (planejada e para o sistema em operação)	62
4.3 - <u>Análise comparativa dos resultados</u>	64
5 - <u>CONCLUSÕES</u>	66
6 - <u>RECOMENDAÇÕES</u>	68
7 - <u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	69
ANEXO 1 - Projeto de irrigação xiquexique	72
ANEXO 2 - Dados de campo relativos à vazão e pressão de serviço nas linhas laterais e emissores, para as quatro unidades de rega do "módulo xiquexique"	77
ANEXO 3 - Freqüência acumulada (F) e descarga adimensional (\bar{q}) dos emissores nas quatro unidades de rega do "módulo xiquexique"	82

LISTA DE TABELAS

Página

TABELA 1 - Coeficiente de Confecção Artesanal (CCA) de Emissores, construídos com agulhas de uso/veterinário (segundo Sampaio et alii, 1983), citado por Vieira de Azevedo, 1984.	16
TABELA 2 - Valores de Vazão (l/h) e pressão (mca) dos emissores da unidade de rega 01	43
TABELA 3 - Valores de vazão (l/h) e pressão (mca) dos emissores da unidade de rega 02	44
TABELA 4 - Valores de vazão (l/h) e Pressão (mca) dos emissores da unidade de rega 03	45
TABELA 5 - Valores de vazão (l/h) e Pressão (mca) dos emissores da unidade re ga 04	46
TABELA 6 - Variação da Pressão e da vazão das linhas laterais nas quatro unidades de rega	47

TABELA 7 - Dados de vazão dos emissores (l/h) e posição relativa destes nas linhas laterais	50
TABELA 8 - Resultados dos cálculos das uniformidades de emissão (UE) e uniformidade de emissão absoluta (UEa) Feitos como base na teoria de Karmeli e Keller (1975)	51
TABELA 9 - Resultados dos cálculos da eficiência Geral (Eg), com base na recomendação descrita por Millo e Cunha (1982)	51
TABELA 10 A - Valores de descarga adimensional dos emissores e a posição relativa destes nas linhas laterais	57
TABELA 10 B - Valores de descarga adimensional dos emissores e a posição relativa destes nas linhas laterais	58
TABELA 11 - Parâmetros utilizados nos cálculos da uniformidade e da eficiência, calculados com base no modelo Karmeli et alii (1978)	60

TABELA 12 - Resultados da avaliação da uniformidade de aplicação pelo modelo matemático proposto por Karmeli et alii (1978)	60
TABELA 13 - Resultados da uniformidade de emissão (UE) para as quatro unidades de rega (1,2,3 e 4) e para o módulo, com base no coeficiente de variação de fabricação do emissor (CVF)	61
TABELA 14 - Valores das eficiências, planejada e para o sistema em operação, segundo a metodologia descrita por Walker (1979)	63
TABELA 15 - Resultados obtidos para os parâmetros do sistema estudado: uniformidade de emissão, eficiência de aplicação e de armazenamento (planejada e para o sistema em operação), índice de percolação profunda	65

LISTA DE TABELAS EM ANEXO

Página

- TABELA 16 - Dados de campo relativos à vazão nos emissores e pressão de serviço nas linhas laterais das unidades de rega 01 e 02, lote "A" 78
- TABELA 17 - Dados de campo relativos à vazão nos emissores e pressão de serviço nas linhas laterais das unidades de rega 03 e 04, lote "B" 79
- TABELA 18 - Dados de campo relativos à pressão de serviço nos emissores das unidades de rega 01 e 02, lote "A" 80
- TABELA 19 - Dados de campo relativos à pressão de serviço nos emissores das unidades de rega 03 e 04, lote "B" 81
- TABELA 20 - Frequência acumulada (F) e carga abdômnensional (\bar{q}) dos emissores na unidade de rega 01, lote "A" 83

TABELA 20 - Frequência acumulada (F) e descarga adimensional (\bar{q}) dos emissores na unidade de rega 02, lote "A"	84
TABELA 20 - Frequência acumulada (F) e descarga adimensional (\bar{q}) dos emissores na unidade de rega 03, lote "B"	85
TABELA 20 - Frequência acumulada (F) e descarga adimensional (\bar{q}) dos emissores na unidade de rega 04, lote "B"	86

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 01.A - Modelo típico de umedecimento do solo na irrigação localizada (Gotejamento) (Keller e Karmelli, 1975)	05
FIGURA 01.B - Modelo de zona de umedecimento nas raízes das plantas, método de irrigação localizada Xiquexique ("Basrhône Method")	05
FIGURA 2 - Descrição esquemática da relação entre o rendimento do cultivo e a tensão de unidade do solo (Hoare et alii, 1974), citado por (Vieira, 1975)	07
FIGURA 3 - Valores médios de vazão das três faces da tubulação para emissores tipo ofício providos de luvas dispersoras de energia e fabricados com agulha de uso veterinário (Botrel, 1984), baseado em (Sampaio et alii, 1983).....	14
FIGURA 4 - Distribuição da vazão e pressão ao longo da linha de irrigação no gotejamento (Ivo e Gitlin, 1974)	19

FIGURA 5 - Curvas de perda de carga em linhas laterais com diâmetros constantes, para razões de perda de carga (H_I/H_A) iguais a 0,20 e 0,50 (Karmeli e Keller, 1975) 19

FIGURA 6 - Cloquis do módulo de irrigação por xiquexique, "sítio ferros", Itapajé-Ceará, 1985, PDCT/NE/UFC 26

FIGURA 7 - Definição esquemática do diagrama de frequência acumulada para o sistema de fluxo dos emissores na irrigação por gotejamento Walker, 1979) 31

FIGURA 8 - Razão das mínimas descargas na lateral em função das perdas de carga para laterais de diâmetro uniforme, em campo nivelado, usando-se emissores com vários expoentes de descarga (Karmeli e Keller, 1975) 36

FIGURA 9 - Relação entre o expoente de descarga da lateral e a razão de perda de carga para vários expoentes de descarga do emissor 39

FIGURA 10 - Representação gráfica dos dados de descarga adimensional versus posição relativa na linha lateral (unidade de irrigação I) 53

FIGURA 11 - Representação gráfica dos dados de descarga adimensional versus posição relativa na linha lateral (unidade de irrigação II) 54

FIGURA 12 - Representação gráfica dos dados de descarga adimensional versus posição relativa na linha lateral (unidade de irrigação III) 55

FIGURA 13 - Representação gráfica dos dados de descarga adimensional versus posição relativa na lateral (unidade de irrigação IV) 56

RESUMO

Este trabalho consiste no estudo da eficiência e da uniformidade de aplicação da água na irrigação localizada, sistema xiquexique (tubos perfurados) objetivando avaliar a performance do sistema pelo módulo testado em campo.

Para determinação da performance do sistema xiquexique estudado, foram avaliados: a uniformidade de emissão absoluta, segundo metodologia descrita por Karmeli e Keller (1975), a uniformidade de emissão calculada em função da equação potencial que caracteriza matematicamente a distribuição dos dados na irrigação localizada, apresentada por Karmeli et alii (1979), a uniformidade de emissão estabelecida com base no coeficiente de variação de fabricação do emissor, bem como, as eficiências de aplicação da água de irrigação - projetada e para o sistema em operação - obedecendo metodologia descrita por Walker (1979).

Desta forma, a base de comparação dos resultados obtidos foi o parâmetro universalmente conhecido e denominado Coeficiente de Uniformidade (CU) de aplicação da água.

Pelos resultados obtidos, foi concluído:

1 - O padrão geral da eficiência de irrigação do sistema xiquexique estudado, se classificou como baixo, inaceitável para a irrigação localizada, apresentando valor de 66,37%.

2 - A uniformidade de emissão apresentou valores que variaram entre 70,87 e 73,75%, identicamente, considerados muito baixos para a irrigação localizada;

3 - Foram alterados os valores relativos às eficiências de aplicação e de armazenamento, tendo atingido seus valores níveis acima de 90% e de 85% respectivamente, em face dos constantes entupimentos nos furos com métodos artesanais de desobstrução, tendo em consequência majorado os valores das vazões adimensionais - máxima e mínima;

4 - A total ausência de filtros, o manejo inadequado da irrigação praticado no campo por pessoa sem habilidade profissional para a prática da irrigação localizada, a total inexistência de manômetros nas linhas laterais ou mesmo nas unidades de rega, para que se pudesse avaliar a pressão de serviço, são anotados como causas da baixa eficiência e da baixa uniformidade de aplicação da água no sistema testado.

ABSTRACT

Present study intends to demonstrate the efficiency and uniformity of the water supply using the Xiquexique irrigation system (perforated pipes).

The object is to evaluate the performance of this model which has been investigated on the field.

To determine the performance of this tested Xiquexique system, it was studied the uniformity of the distribution and the uniformity of the absolute emission used the method described by Karmeli and Keller (1975), the calculations to determine the uniformity of the distribution based on the function of the potential equation which identifies mathematically the data distribution of the irrigation (Karmeli et alii, 1979). The value of the uniformity of the established distribution of water based on the variations of the coefficient given by the manufacturer of the distribution, as well, as the effectiveness of the water supply of the present irrigation system. This way the Walker (1979) method was used.

In this farm the base of the comparison of the obtained results was that parameter which is universally called as uniformity coefficient of the water application.

The conclusions upon the obtained results are as follow:

1 - The general characteristics of the efficiency of the investigated xiquexique system indicate a low such as 66,37% wich is not able for the localized irrigation;

2 - The values varied between 70,87% and 73,75% were also found low for the success of the located irrigation;

3 - The values of the efficiency of the application and the storage have been changed to neach the level of 90% and 85% respectively by means of increasing the diametre of the holes on the pipes using a hand made method. This way the maximal and minimal distribution rate has increased;

4 - The lack of filters, the inadequate handling carried by the unsrilled worrens, the total absence of manometers on the lateral pipes as well on the distributor units (wich should have necessary) are the main reasons of the low efficiency and uniformity of the application of water in this studied system.

1 - INTRODUÇÃO

A água se constitui em um dos mais valiosos recursos naturais, essencial ao consumo e higiene do homem, à fabricação de muitos bens industriais, à produção de alimentos.

À medida que a população mundial cresce, a demanda desses recursos naturais vital vai se tornando cada vez mais comprometida, havendo atualmente no mundo regiões nas quais a utilização da água está próxima da disponibilidade máxima, havendo por isto sérios conflitos pelo seu uso nos mais diversos fins.

A incorporação de novas áreas ao processo produtivo constitui-se forte imperativo a fim de que possa atender às crescentes demandas de alimentos, e a irrigação se nos apresenta como outro insumo de relevante valor neste mister.

No Nordeste brasileiro, área de consideração do nosso estudo, a precipitação pluviométrica não é apenas escassa como irregular a distribuição geográfica e cronológica das chuvas agravada ainda pela ocorrência das secas mais ou menos intensas acarretando em consequência uma deprimida economia agrícola com efeitos desastrosos sobre a população nordestina.

Visando solucionar estes freqüentes problemas regionais do semi-árido, o governo brasileiro vem desenvolvendo, nos últimos dez anos, através dos órgãos competentes, um intensivo programa de pesquisa no sentido de gerar e/ou adaptar tecnologias compatíveis com as limitações e a potencialidade desta região, que permitam estas tecnologias evitar ou pelo menos minimizar os efeitos catastróficos das secas, e permitir um maior desenvolvimento da agricultura.

Dest'arte, a introdução de sistemas não convencionais de irrigação e/ou a adaptação de sistemas tradicionais às condições nordestinas vem ocorrendo, e assim surgiu entre outras coisas a irrigação localizada sistema xiquexique, consi

derada pelos técnicos da SUDENE e CNPq como adaptada às pequenas áreas (0,5 a 4,0 hectares), econômica do ponto de vista do consumo hídrico, capaz de assegurar altos níveis de produtividade às culturas com ela tratadas.

Oriunda da França, o conhecido "bas rhône method" tem vinte anos a mais de dedicado trabalho dos engenheiros da "Bas Rhône Languedoc Compagny", aperfeiçoando-se a cada ano, com sucesso no mundo inteiro onde é desenvolvido. Implantado no Nordeste brasileiro, com modificações, sob responsabilidade técnica da SUDENE e CNPq, pelos idos de 1980, teve como berço a micro-região do Seridó riograndense do norte, local rico em cactáceos do tipo xiquexique, daí o seu nome.

É obrigatório assinalar também que transcende a qualquer motivo a importância a que se atribui à preconização ou desenvolvimento de um sistema de irrigação dentro dos padrões técnicos considerados necessários para que se assegure uma aceitável economicidade para o projeto e sua conseqüente viabilização pelo que se evidencia como um grande objetivo a eficiência do sistema, sua melhor performance. Daí o sem número de estudos que se vêm desencadeando neste tocante e relativos à irrigação localizada sistema xiquexique, nas condições do Nordeste brasileiro.

O projeto de pesquisa, objeto desta tese, foi concebido com a intenção maior de contribuir com estes estudos, tendo sido definido tecnicamente para determinar a eficiência e a uniformidade de aplicação da água, através de um estudo de caso, avaliar, portanto, a performance do sistema pelo módulo testado.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Considerações básicas sobre a irrigação localizada

O advento da irrigação localizada remonta aos idos de 1940 quando foi testada, primeiramente em estufas, na Inglaterra, para depois, por volta de 1950, ter sido utilizada em culturas abertas, em Israel, assumindo porém importância comercial na década de sessenta com o desenvolvimento de tubos e acessórios de plástico (VERMEIREN e JOBLING, 1980) citados por (BOTREL, 1984), (KARMELI e KELLER, 1975).

VIEIRA DE AZEVEDO (1984), citando BENARDO (1982), recomenda para regiões áridas e semi-áridas onde a água é um fator limitante, o desenvolvimento de pesquisas visando planejar a irrigação em termos de máxima produção por unidade de água aplicada. Neste sentido, resultados de pesquisas já desenvolvidas, demonstraram que os sistemas de irrigação localizada são, potencialmente, capazes de satisfazerem as necessidades hídricas das culturas com um mínimo de perdas d'água, estabelecendo desta forma uma relação entre a máxima produtividade e a quantidade de água aplicada.

Segundo SILVA e DUARTE (1980), citados por VIEIRA DE AZEVEDO (1984), o avanço tecnológico tem possibilitado a aplicação dos sistemas de irrigação localizada às mais diversas condições de solo-planta-água. Estes sistemas se apresentam técnica e economicamente mais viáveis em regiões com escassez d'água e em culturas de elevado valor comercial, exploradas em pequenas áreas.

Algumas características básicas, vantagens e desvantagens da irrigação localizada podem ser enumeradas como se segue:

2.1.1 - Características

Em geral, os sistemas de irrigação localizada não molham a totalidade da área cultivada em consequência do seu princípio de distribuição da água de forma pontual. Por esta característica, o método se torna mais adequado a culturas perenes ou semi-perenes pelo fato de que quanto maior for o espaçamento entre plantas, menores serão as necessidades hídricas por unidade de área, como também, a quantidade de tubulação requerida, segundo BRITO (1983), citado por VIEIRA DE AZEVEDO (1984).

Devido a alta frequência de irrigação a irrigação localizada determina um volume de solo molhado, denominado "bulbo úmido", que mantém o sistema radicular da cultura irrigada em contínua condição satisfatória de umidade, favorecendo a produtividade. Vários autores concordam neste sentido e atestam que o "bulbo úmido" apresenta dimensões que dependem da textura e estrutura do solo, da vazão do gotejador e da frequência da aplicação da água.

A distribuição de sais no interior do "bulbo úmido" ocorre obedecendo, peculiarmente, a cada situação que define as características físicas do "bulbo úmido"; desta maneira, os sais solúveis são deslocados para a fronteira da área molhada, particularmente em sua posição superior, próximo à superfície do solo (USA - SOIL CONSERVATION SERVICE, 1978), (KARMELE E KELLER, 1975). A FIGURA 01 mostra a formação do "bulbo úmido" com a acumulação de sais em suas fronteiras, tanto no sistema de irrigação por gotejamento, quanto no xixexique.

Trata-se de um sistema de irrigação inteiramente sob pressão, que aplica água ao sistema solo-planta em pequenas quantidades (baixa vazão), condicionadas a baixas pressões de serviço, que podem variar de 02 a 30 mca, sendo que a distribuição da água se faz através de emissores. Estes são dispositivos com capacidade de dissipar energia e distribuir a água de irrigação no solo nos pontos de descarga escolhidos.

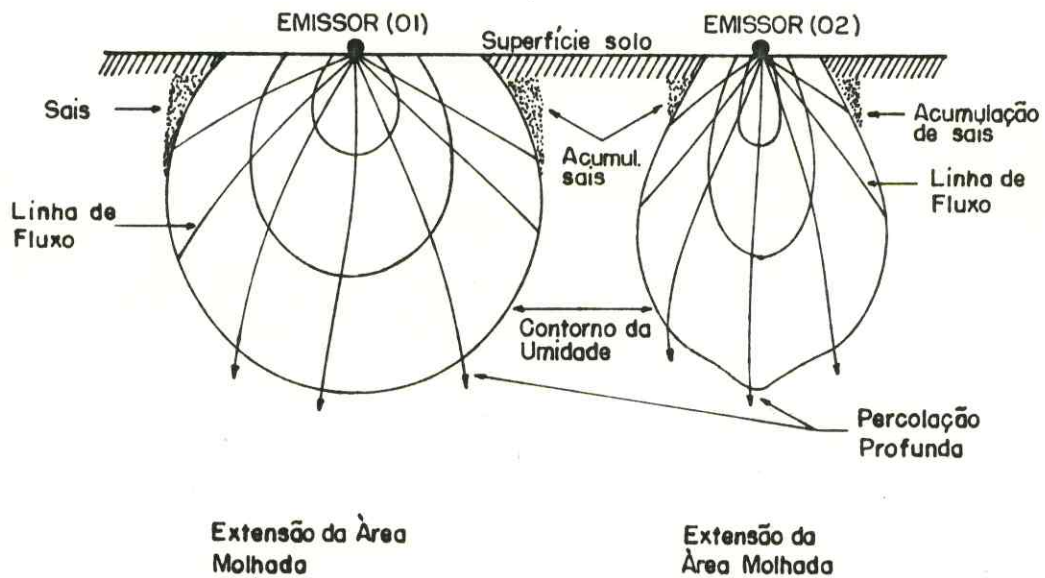
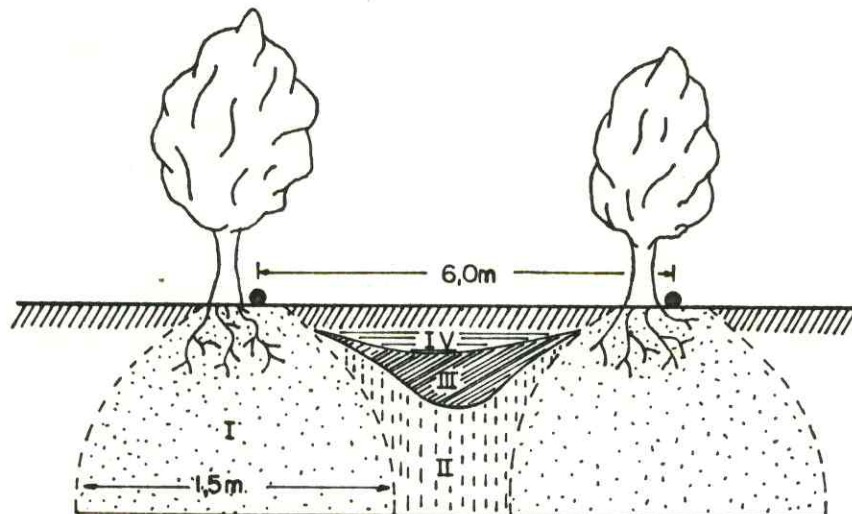


Figura 1-A Modelo típico de umedecimento do solo na irrigação localizada (gotejamento.)
(Keller e Karmelli, 1975)



I = zona úmida

II = zona de transição

III = zona de murchamento permanente

IV = zona seca

CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE UMIDADE DO SOLO : 4% à 7%

I = umidade entre 6% à 8%

II = umidade entre 2% à 6%

III = umidade em torno de 2%

Figura 1-B Modelo de zona de umedecimento nas raízes das plantas, método de irrigação localizada XIQUE-XIQUE ("Bas Rhône Method")

em função das características de projeto (VIEIRA DE AZEVEDO, 1984).

Diversificando-se quanto às características hidráulicas de vazão e a forma de distribuição da água de cada emissor, a irrigação localizada subdivide-se basicamente em dois tipos diferentes: Gotejamento, considerado o método clássico da irrigação localizada e como tal o que apresenta maior número de informações técnicas até o momento, e Micro-Aspersão, enquanto que, o gotejamento, cápsulas porosas e tubos perfurados (xiquexique), são considerados métodos não convencionais e derivados (OLITTA, 1986).

Segundo VIEIRA (1975), a irrigação localizada representa excelente perspectiva para a agricultura das regiões áridas e semi-áridas pois maximiza os benefícios obtidos dos recursos hídricos, conforme este autor demonstra pelo gráfico que representa a FIGURA 02.

2.1.2 - Vantagens e desvantagens

SOARES (1974), estabelece que o gotejamento resolve os problemas mais sérios e que se apresentam nos métodos convencionais de irrigação que são:

- . solos de topografia acidentada;
- . umedecimento heterogêneo do solo;
- . consideráveis perdas d'água;
- . água de má qualidade para a irrigação;
- . solos salinos;
- . insuficiência d'água.

ABELAIRAS E LAPAZARAN (1983), VIEIRA (1975), VIEIRA DE AZEVEDO (1984) e MILLO E CUNHA (1982); entre outros, relacionam as vantagens e desvantagens da irrigação localizada como apresentadas a seguir:

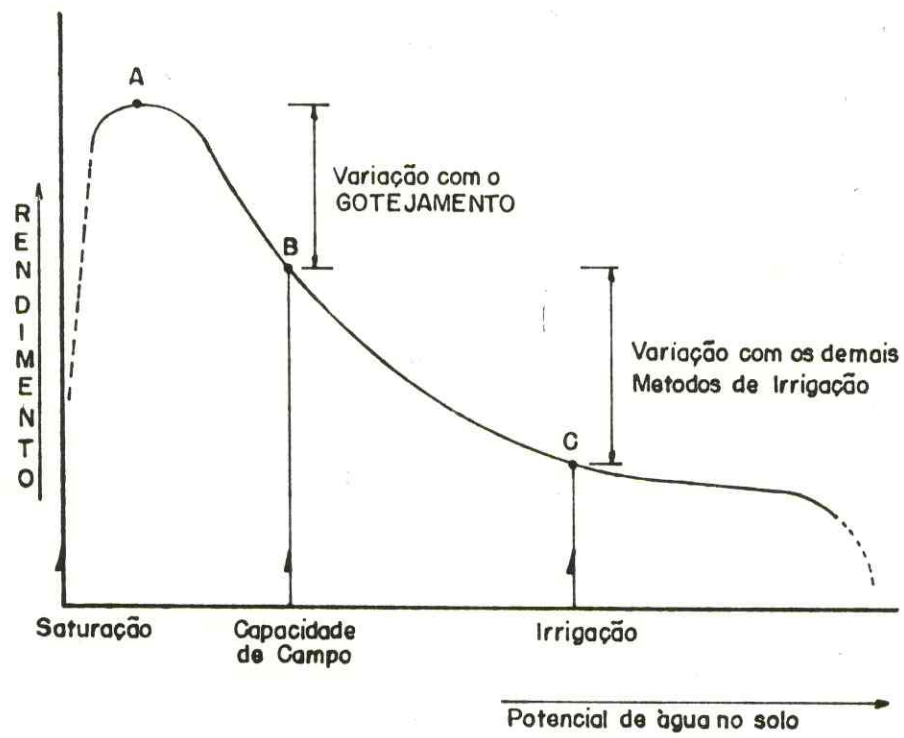


Figura 2 Descrição esquemática da relação entre o rendimento do cultivo e a tensão de umidade do solo. (HOARE et Alii, 1974) citado por (VIEIRA, 1975)

Vantagens:

- grande economia de água, em torno de 30 a 50% em relação a aspersão, podendo ainda economizar de 50 a 100% em relação aos outros métodos gravitacionais;
- aumento do rendimento e qualidade dos produtos em função da alta frequência das irrigações, permitindo flutuações mínimas no conteúdo de umidade do solo;
- possibilidade de fertirrigação localizada;
- grande economia de mão-de-obra, podendo chegar a completa automatização;
- economia de energia em face da economia de água, possibilitando a utilização de fontes alternativas de energia, tais como: biomassa, energia eólica, energia solar, o gasogênio, entre outras;
- economia dos produtos para tratamento fitossanitário.

Desvantagens:

- exigência de filtragem da água de irrigação em virtude do fluxo ocorrer através de emissores que apresentam pequenos orifícios de saída da água cujos diâmetros variam de 0,5 a 2,00mm, como tal, extremamente suscetíveis ao entupimento. Neste pormenor, o sistema de irrigação localizada xiquexique, objeto do presente estudo, apresenta menos desvantagem, uma vez que seus emissores são furos abertos diretamente na tubulação de polietileno flexível com o uso de agulha veterinária do tipo "20 por 30" e em diâmetros que variam entre 1,4mm e 2,00mm com vazões oscilando entre 30 e 120 litros/hora, o que faz dispensar, perfeitamente, sofisticados sistemas de filtragem, como se verifica no gotejamento e na micro-aspersão, sem grandes riscos de entupimento (MILLO E CUNHA, 1982);
- elevado custo de instalação.

2.2 - Concepção do sistema de irrigação xiquexique

Os sistemas tradicionais de irrigação localizada não são de fato adequados à realidade sócio-econômica do pequeno produtor rural, o qual se constitui no elemento mais responsável pela produção agrícola no semi-árido Nordeste Brasileiro, por se tratarem de sistemas formados com necessidade de sofisticados componentes de filtragem e via de regra totalmente automatizados (MILLO E CUNHA, 1982).

A criação do sistema xiquexique, no entendimento destes autores, se deveu à necessidade de obtenção de uma modalidade de irrigação simplificada com tecnologia adaptada às condições do pequeno produtor rural, econômica do ponto de vista do consumo d'água e de rentabilidade assegurada aos cultivos irrigados, de fácil manejo.

O sistema xiquexique nada mais é do que uma adaptação da irrigação por tubos perfurados, "bas rhône method", de grande utilização na África. Foram procedidas simplificações ao nível dos irrigadores (emissores), simples furos abertos diretamente na tubulação de polietileno por meio de agulha do tipo veterinária (20x30), as válvulas passaram a ser manuais e o cálculo hidráulico foi bastante simplificado, segundo os autores (MILLO E CUNHA, 1982).

SAMPAIO et alii (1983), citados por VIEIRA DE AZEVEDO (1984), afirmam que o sistema xiquexique é um exemplo típico de tecnologia simplificada na irrigação localizada, vez que, não dispõe de dispositivos sofisticados de distribuição da água, como gotejadores e microaspersores, evitando assim as perdas de carga localizadas.

Afirmam MILLO E CUNHA (1982), que o sistema xiquexique por sua vazão relativamente alta pode ser usado com sucesso em plantios consorciados (cultura principal, perene, culturas secundárias, temporárias).

2.3 - Avaliação da irrigação localizada

Segundo KARMELI E KELLER (1975), um sistema de irrigação é avaliado para se obter a máxima eficiência, a melhor definição da lâmina líquida e a capacidade do sistema. Assim, um sistema de irrigação projetado para maior uniformidade de aplicação d'água deve ser normalmente considerado o mais eficiente.

Após a instalação de um sistema de irrigação recomenda-se a realização de um teste de campo para avaliar a adequação e uniformidade de distribuição da água projetadas, como também, para obtenção de dados úteis ao aperfeiçoamento do manejo e operação de sistemas já existentes (OLITTA, 1986).

O estudo da avaliação da irrigação localizada sistema xiquexique conduz ao estudo da avaliação da irrigação localizada por gotejamento pela riqueza de informações técnicas disponíveis até aqui, contrastando com a diminuta bibliografia para o sistema xiquexique, em face do pouco tempo ocorrido de sua criação até hoje.

Na irrigação por gotejamento como no sistema xiquexique, a água é conduzida da fonte ao ponto onde ela se infiltra no solo através de uma rede de tubos, portanto, a uniformidade de aplicação da água depende da uniformidade de vazão do emissor através de todo o sistema (KARMELI E KELLER, 1975). Estes autores atestam que o objetivo fundamental de um bom manejo e de um bom projeto de gotejamento é fornecer ao mesmo a capacidade de vazão suficiente para irrigar adequadamente o mínimo de área molhada. Por isto, as relações entre a vazão mínima e a vazão média do emissor dentro do sistema é um importante fator de uniformidade de aplicação. Esta relação é definida como uniformidade de emissão (UE). Todavia, o excesso ou a falta de umidade no solo pode afetar a qualidade e a produtividade das culturas; logo, a uniformidade de aplicação é um parâmetro que inclui também a razão entre a vazão máxima e a vazão mínima do emissor e esta razão é denominada uniformidade de emissão absoluta (UEa). Tanto a UE

quanto a UEa podem ser avaliadas no campo.

KARMELI E KELLER (1975), definiram a eficiência de aplicação (Ea) para o sistema de irrigação por gotejamento como sendo o produto da uniformidade de emissão (UE) pela taxa de transpiração (TR) e afirmaram que para regiões áridas, valores de (TR) em torno de 90% demonstram ser o manejo do sistema de expectativa razoável, e quando este coeficiente assumir valores superiores a 95%, o manejo da irrigação estaria excelente.

2.3.1 - Fatores que afetam a qualidade da irrigação localizada

Alguns fatores afetam as taxas de descarga ou vazão dos emissores e podem causar consideráveis variações. KARMELI, *et alli* (1978), apontaram dois fatores como de maior importância no estudo das variações de descarga dos emissores.

- Características e variabilidade de fabricação dos emissores;

- Distribuição da pressão por toda a rede de tubos em função das perdas de carga por fricção.

SOLOMON E KELLER (1978), apontam sete itens que influem nas taxas de descarga dos emissores quando em operação, como se segue:

- a) características dos emissores;
- b) variabilidade de fabricação dos emissores;
- c) perdas de carga por fricção através de toda a rede de tubos do sistema;
- d) diferenças de elevação no solo;
- e) número de emissores com problema de entupimento, no sistema;
- f) grau de suscetibilidade de entupimento dos emissores, no sistema;
- g) variação da temperatura da água através do sistema.

HOWEL E HILLER (1974), citados por SOLOMON E KELLER

(1978), apresentaram um modelo de projeto da linha lateral na irrigação por gotejamento no qual o coeficiente de uniformidade é baseado nos itens a, c e d, acima apresentados; contudo, SOLOMON E KELLER (1978), observaram, também, ser de importância o item b (variabilidade de fabricação dos emissores) e afirmaram ainda que não há meios práticos de análise que levem em consideração todos os sete itens aqui apresentados.

KARMELI, et alii (1978), ao estudarem a distribuição espacial da água na irrigação por gotejamento observaram que as perdas ou os ganhos devido às diferenças de elevação no solo têm sido muito estudadas e resultam de uma análise de um sistema em nível, podendo ser entendidas com facilidade para suas inclusões nos cálculos hidráulicos conforme mostram os estudos desenvolvidos por SOLOMON E KELLER (1978). Entretanto, à época (1978) os outros dois fatores – entupimento e temperatura da água – ainda não haviam sido completamente analisados.

KARMELI E KELLER (1975), HOWEL E HILLER (1974), citados por SOLOMON E KELLER (1978), propuseram que o fluxo do emissor fosse caracterizado matematicamente pela seguinte equação:

$$q = Kd \cdot H^x \quad (01)$$

onde: q = taxa de descarga do emissor (l/h)

Kd = coeficiente de descarga que caracteriza cada emissor

H = pressão de serviço do emissor (m)

x = expoente de descarga que caracteriza o regime de fluxo do emissor

Segundo HILLS, et alii (1985), em seus estudos de oscilação de pressão para melhorar a uniformidade de aplicação na irrigação localizada por microaspersão, asseguraram que na equação (01), acima descrita, Kd e x são determinados empiricamente. Para o caso do emissor tipo orifício, estes autores comprovaram as citações de KARMELI E KELLER

(1975), de que, o coeficiente \underline{x} é aproximadamente igual a 0,5. Com a oscilação de pressão no sistema, o valor de \underline{x} é modificado muito ligeiramente e quando a pressão se aproxima de zero o regime de fluxo pode se tornar laminar e o coeficiente \underline{x} aproxima-se de 1,0, dependendo das características do emissor. No trabalho de pesquisa destes autores eles verificaram que a mudança do regime turbulento para o regime parcialmente turbulento (instável) ocorria quando a pressão de situava em torno de 15kPa (3mca) e de instável para laminar ocorria com a pressão próximo de 7kPa (1,4m).

SAMPAIO et alii (1983), citados por VIEIRA DE AZEVEDO (1984), determinaram em laboratório curvas de cargas versus vazão dos emissores para irrigação do tipo xiquexique, com forme mostra a FIGURA 03.

Concluíram estes autores que a uniformidade de descarga se situa em torno de 90% para este sistema de irrigação.

KARMELI E KELLER (1975), concluíram que para emissores tipo orifícios o valor do coeficiente \underline{x} tende para 0,5; para emissores do tipo longo percurso o valor de \underline{x} deverá ser menor ou igual a 1 e maior ou igual a 0,5 e para emissores com pressão compensada o valor de \underline{x} deverá ser maior ou igual a zero e menor ou igual a 0,5.

KARMELI E KELLER (1975), desenvolveram um parâmetro denominado coeficiente de variação de fabricação (CVF) do emissor o qual caracteriza a taxa de fluxo do mesmo em uma da da pressão de serviço como uma distribuição normal:

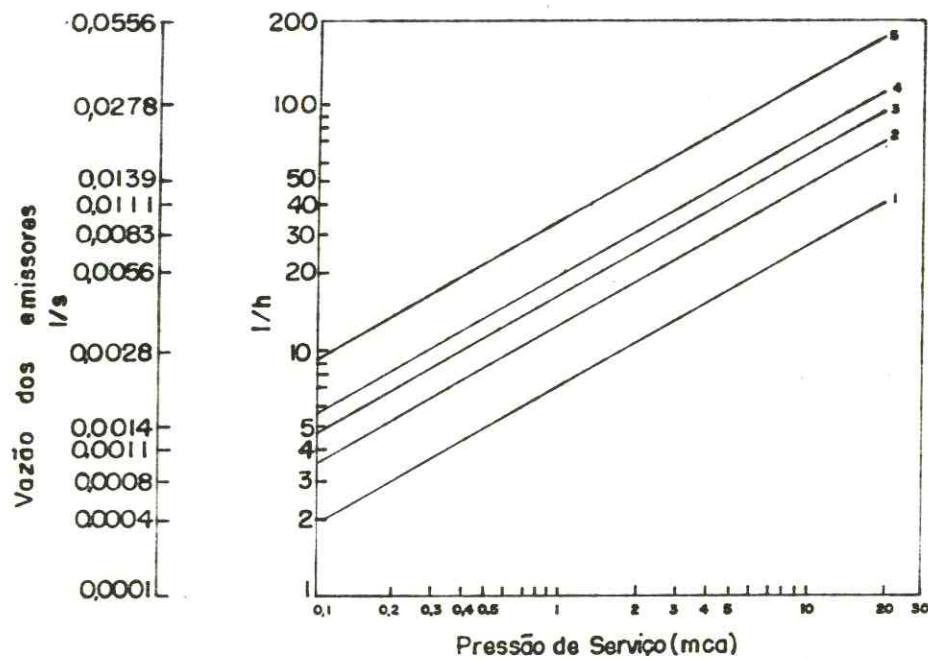
$$CVF = \frac{\sigma}{\mu} \quad (02)$$

sendo: σ = desvio padrão da descarga do emissor com relação a uma pressão de referência.

μ = descarga média (vazão) dos emissores com relação a uma pressão de referência.

CVF = coeficiente de variação de fabricação do emissor.

Existindo mais de um emissor por planta o coeficien-



RETAS	DIÂMETRO (mm)	EQUAÇÕES (l/h)	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (r)
1	1,0	$q = 7,24h^{0,56}$	0,997
2	1,4	$q = 13,66h^{0,56}$	0,994
3	1,5	$q = 17,47h^{0,56}$	0,940
4	1,8	$q = 20,50h^{0,56}$	0,996
5	2,0	$q = 34,57h^{0,56}$	0,996

Figura 3 Valores médios de vazão das três faces da tubulação, para emissores tipo orifício, providos de luvas dispersoras de energia e, fabricados com agulha de uso veterinário (Botrel, 1984), baseado em (Sampaio et alii, 1983)

te de variação de fabricação do sistema (CVFs), analisado por KARMELI E KELLER (1975) e desenvolvido mais extensivamente por SOLOMON (1979), resulta:

$$CVFs = \frac{\sqrt{e} \cdot \sigma}{\mu e} \quad \therefore \quad CVFs = CVF \cdot e^{-\frac{1}{2}} \quad (03)$$

onde: e = nº de emissores/planta

SOLOMON (1979), declarou que valores do coeficiente de variação de fabricação (CVF) classificam-se entre 0,02, para os mais baixos valores e 0,40 para os maiores valores.

As variações resultantes de muitos processos de manufatura tendem para uma distribuição normal sobre seu valor médio. Isto pode ser visto, por exemplo, por um conjunto de emissores operando a uma pressão de referência: 68% teria uma descarga dentro de mais ou menos um desvio padrão da média; 95% teria uma descarga dentro de mais ou menos dois desvios padrões da média e 98% uma descarga dentro de mais ou menos três vezes o desvio padrão da média (SOLOMON, 1979), KARMELI, et alii, 1978).

SAMPAIO et alii (1983), citados por VIEIRA DE AZEVEDO (1984), desenvolveram testes de laboratório no sentido de identificar as características hidráulicas dos diferentes tipos de emissores (diâmetros dos furos) utilizados no sistema de irrigação xiquexique, determinando coeficientes de confecção artesanal (Cca) que se diferenciaram entre si por influência das faces longitudinais da tubulação de polietileno e por influência da seção de escoamento dos emissores, e assim relacionaram em funções e exponenciais carga e vazão. Para tanto estes autores levaram em consideração que as tubulações em polietileno são enroladas de maneira circular em seu processo de embalagem, vindo estabelecer em sua dimensão longitudinal três faces com aspectos geométricos distintos quais sejam: côncava, convexa e lateral. Desta forma, comprovaram, experimentalmente, a existência de efeitos de contração e expansão na seção de escoamento dos emissores. A TABELA nº 01 mostra parte dos resultados desta pesquisa, enfocando os valores acha-

TABELA 01 - Coeficiente de confecção artesanal (Cca) de emissores, construídos com agulhas de uso veterinário (Segundo SAMPAIO et alii, 1983), citado por VIEIRA DE AZEVEDO (1984).

Orifícios (mm)	Carga (mca)	Coeficiente de Confecção Artesanal - Cca	Classificação
Face côncava			
1,0	4	0,099	bom
	8	0,106	médio
	12	0,145	bom
1,4	4	0,052	bom
	8	0,061	bom
	12	0,069	bom
1,5	4	0,087	bom
	8	0,074	bom
	12	0,071	bom
1,8	4	0,089	bom
	8	0,110	médio
	12	0,099	bom
2,0	4	0,073	bom
	8	0,081	bom
	12	0,093	bom
Face lateral			
1,0	4	0,118	médio
	8	0,130	médio
	12	0,120	médio
1,4	4	0,086	bom
	8	0,089	bom
	12	0,099	bom
1,5	4	0,125	médio
	8	0,136	médio
	12	0,140	médio
1,8	4	0,136	médio
	8	0,135	médio
	12	0,30	médio
2,0	4	0,017	bom
	8	0,074	bom
	12	0,083	bom
Face convexa			
1,0	4	0,176	médio
	8	0,165	médio
	12	0,170	médio
1,4	4	0,083	bom
	8	0,072	bom
	12	0,074	bom
1,5	4	0,085	bom
	8	0,099	bom
	12	0,084	bom
1,8	4	0,065	bom
	8	0,068	bom
	12	0,078	bom
2,0	4	0,040	bom
	8	0,047	bom
	12	0,042	bom

dos para o coeficiente (Cca).

KARMELI E KELLER (1975), SOLOMON E KELLER (1978) e SOLOMON (1979), demonstraram que as características de projeto do emissor (o expoente de descarga) e as variações entre emissores, unidade para unidade, definem os efeitos e as eficiências no sistema de irrigação por gotejamento, igualmente relacionados com a uniformidade de aplicação da água.

Vários estudos têm sido empreendidos para caracterizar as distribuições de pressão ao longo da linha lateral na irrigação localizada. Em terrenos planos as variações de pressão são devidas às perdas de carga por fricção no interior da tubulação (KARMELI, et alii 1978), (WU e GITLIN, 1974).

WU E GITLIN (1974), demonstraram que as condições de vazão nas secundárias e laterais podem ser consideradas como uniforme e espacialmente variadas em função das saídas de água ao longo da linha lateral (decréscimo de vazão a partir da posição inicial). Estes autores afirmaram ainda que a distribuição de pressão ao longo das linhas de irrigação por gotejamento (principal, secundárias e laterais) é controlada pela energia criada em função das diferenças de nível no terreno (perda ou ganho). Ver FIGURA 04.

WU E GITLIN (1974), KARMELI E KELLER (1975), apresentaram curvas de pressão versus posição relativa na linha lateral e demonstraram que a forma geral e as características são as mesmas e praticamente independem das características do emissor e da quantidade de perda de carga.

WU E GITLIN (1974), mostraram curvas adimensionais de pressão para linhas de emissores desenvolvidas através do cálculo iterativo e a partir daí técnicas de projeto foram desenvolvidas envolvendo variações no diâmetro do orifício do emissor, no comprimento do microtubo em pontos de descarga, e no espaçamento entre emissores para manter aplicações uniformes da água. Entretanto, concluíram que o uso de diferentes diâmetros dos emissores é praticamente inviável devido a difícil instalação e manutenção, e ainda, o espaçamento uniforme entre emissores é o desejado tecnicamente.

KARMELI E KELLER (1975), desenvolveram as relações

entre pressão de serviço e a posição relativa do emissor ao longo da linha lateral, mostrando que o emissor descarregando a uma taxa média de fluxo (q_a) está localizado geralmente a aproximadamente 40% do comprimento da lateral ($l/L = 0,40$). Assim, a maioria das perdas de carga ocorrem próximo à entrada da lateral onde o fluxo é maior e se o diâmetro da lateral é uniforme. Eles também mostraram que aproximadamente 77% da perda de carga total está neste ponto e que os resultados estão baseados no uso iterativo da equação de HAZEN-WILLIAMS para encontrar a perda de carga na lateral (ver FIGURA 05).

SOLOMON E KELLER (1978), mostraram que as taxas de descarga dos emissores são normalmente distribuídas sobre a carga nominal e concluíram que a variação do coeficiente de variação de fabricação do emissor (CVF) pode ter um grande efeito nas diferenças de fluxo, maior do que os efeitos determinados pela variação de pressão dentro da rede de tubos.

2.3.2 - Conceitos de eficiência e uniformidade

Segundo KARMELI E KELLER (1975), a eficiência de aplicação da água na irrigação localizada depende sobretudo de dois conceitos:

a) a taxa de transpiração (TR), que é a razão da água transpirada pelas plantas e a água aplicada à menor área molhada;

b) a uniformidade de aplicação ou uniformidade de emissão (UE).

Estes pesquisadores apresentaram ainda algumas características dos emissores que afetam a eficiência da irrigação, como se relaciona a seguir:

1. variação na taxa de descarga devido às variações de fabricação do emissor;

2. a exatidão nas relações entre descarga/pressão nas especificações de projeto;

3. o expoente de descarga do emissor;

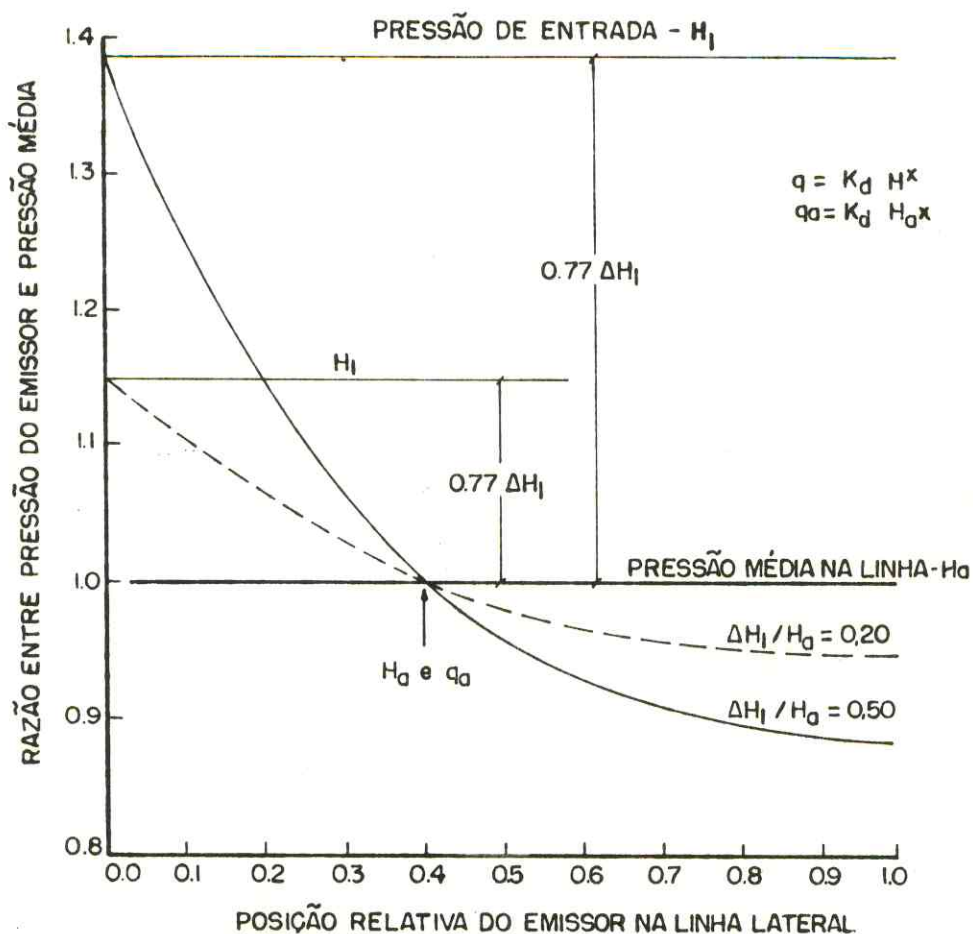


Figura 5 Curvas de perda de carga em linhas laterais com diâmetros constantes, para razões de perda de carga ($\Delta H_l / H_0$) iguais a 0,20 e 0,50 (Karmeli e Keller, 1975)

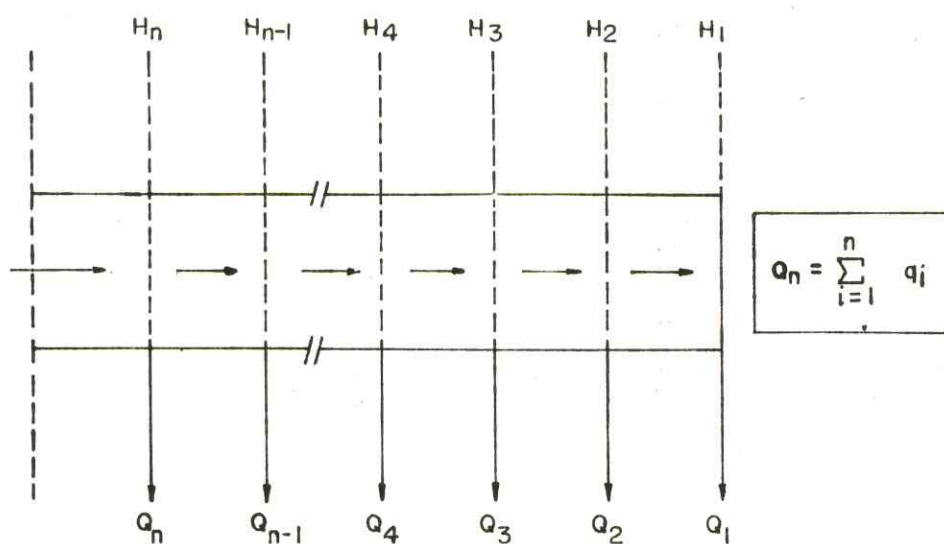


Figura 4 Distribuição da VAZÃO e PRESSÃO ao longo da linha de irrigação no GOTEJAMENTO (Wu e Gitlin, 1974)

4. possível classificação das pressões mais apropriadas ao serviço;
5. perdas de pressão nas linhas laterais devido às conexões dos emissores;
6. suscetibilidade ao entupimento;
7. estabilidade na relação pressão/vazão por longo pe ríodo de tempo.

RODRIGO (1983), leva em consideração que em um siste-
ma de irrigação localizada as perdas d'água na rede de distri-
buição são praticamente nulas. Dentro da unidade de rega a
água que sai pelos emissores é a mesma que chega à parcela,
daí porque se definir a eficiência de aplicação como a água
armazenada na zona de raízes e que está à disposição da plan-
ta. Se a zona radicular é irrigada de acordo com a lâmina re-
querida pela cultura, a eficiência de aplicação pode ser de-
finida como sendo a relação entre a água requerida pela cul-
tura e o total de água aplicada:

$$E_a = \frac{V_n}{V_a} \quad (04)$$

sendo: V_n = volume requerido na zona de raízes.
 V_a = volume total aplicado.

Entretanto, se a zona radicular não recebe toda a
água necessária e existe um "deficit" permitido, a eficiência
de aplicação passaria a ser expressa matematicamente pela
equação (05), como se demonstra:

$$E_a = \frac{V_n (1 - D)}{V_a} \quad (05)$$

sendo: D = "deficit" hídrico expressado em tanto por um do
volume requerido.

RODRIGO (1983), também determina que quando se supõe
um ótimo manejo da irrigação localizada, a eficiência de apli-
cação será definida como se demonstra a seguir:

$$E_a = K \cdot CU \dots\dots\dots K \text{ maior que } (1 - LR) \quad (06)$$

$$E_a = (1 - LR) \cdot CU \dots\dots K \text{ menor que } (1 - LR) \quad (07)$$

sendo: K = perdas inevitáveis por percolação (tanto/um)
 LR = requerimentos de lixiviação (tanto/um)
 CU = coeficiente de uniformidade (tanto/um)

Este autor entende que a uniformidade de irrigação num sistema instalado dependerá, sobretudo, dos seguintes aspectos:

- a) das diferenças de pressão que se produzem na rede devido às perdas de carga por fricção e a topografia do terreno, à semelhança de outros autores;
- b) da falta de uniformidade de fabricação dos emissores;
- c) do número de emissores por planta;
- d) das variações que ocorrem nas características dos emissores com o tempo de uso;
- e) da temperatura da água de irrigação;
- f) das variações ocorridas em decorrência da variação de fabricação dos reguladores de pressão (quando existam).

Segundo RODRIGO (1983), o primeiro coeficiente de uniformidade de irrigação foi definido por CHRISTIANSEN e ele o empregou para avaliar a irrigação por aspersão, por volta de 1942. O coeficiente de Christiansen é semelhante ao que compara a pluviometria média com a média da 1/2 dos valores mais baixos, como se pode comprovar pelas equações (08) e (09):

$$CU_D = \frac{q(50\%)}{q_a} \cdot 100 \quad (08)$$

$$CU_d = 100 \left(1 - 0,798 \frac{\sigma}{q_a} \right) \quad (09)$$

sendo: σ = desvio padrão das descargas em relação à média.

Atualmente e mais freqüente o uso do coeficiente de uniformidade que compara a média dos 25% dos menores valores e a média geral.

KARMELI E KELLER (1975), desenvolveram técnicas e critérios para determinar a uniformidade de distribuição na irrigação por gotejamento. Foi definida como uniformidade de emissão (UE) a relação entre a vazão mínima e a vazão média encontrada no sistema e como uniformidade de emissão absoluta (UEa) a relação entre a vazão máxima e a vazão mínima no sistema. Estabeleceram também como regra geral que um sistema de irrigação por gotejamento não deve ser projetado para valores de uniformidade de emissão absoluta (UEa) menores que 90%. A uniformidade de emissão e a uniformidade de emissão absoluta podem ser expressados pelas seguintes equações:

$$UE = q_n / q_a \cdot 100 \quad (10)$$

$$UE_a = 100 \cdot 1/2 (q_n/q_a + q_a/q_x) \quad (11)$$

Como já foi descrito anteriormente, os principais fatores que causam variação de vazão dos emissores são as diferenças de pressão produzidas pelo projeto hidráulico e a variabilidade de fabricação do emissor e da variação de pressão como se segue:

$$UE = 100 (1 - 1,27 v/\sqrt{e}) q'_n/q_a \quad (12)$$

$$UE_a = 100 (1 - 1,27 v/\sqrt{e}) \cdot 1/2 (q'_n/q_a + q_a/q'_x) \quad (13)$$

onde: q'_n = descarga mínima do emissor computada com a mínima pressão

q_a = descarga média geral do sistema

q'_x = descarga máxima do emissor computada com a maior pressão

e = nº de emissores/planta

BRALTS, WU E GITLIN (1981 e 1982), citados por RODRI-

GO (1983), também definiram uma equação para a uniformidade de irrigação:

$$U_s = 100 (1 - CV_t) \quad (14)$$

$$CV_t = CV^2 + CV_h^2 \quad (15)$$

onde: CV_t = coeficiente de variação da vazão, referido à subunidade de irrigação, ou uma lateral.
 CV = coeficiente de variação de fabricação do emissor.
 CV_h = coeficiente de variação do fluxo (vazão), devido à pressão.

Este coeficiente foi deduzido da equação que relaciona a vazão e a pressão de um emissor, $q = K_d \cdot H^x$, onde se tem demonstrado que as variáveis K_d e H^x são estatisticamente independentes.

NAKAYAMA Y BRUCKS (1981), citados por RODRIGO (1983), supondo que não existe variação de fluxo devido a hidráulica, estudaram a influência do coeficiente de variação de fabricação do emissor ao longo do primeiro ano de uso para o coeficiente de uniformidade do sistema, definido por Christiansen, Karmeli e Keller, partindo de um valor para $CV = 0,05$, para emissores novos, cujos resultados foram os seguintes:

CUC = 95,7%	CUC = 89,0%
UE = 93,1%	UE = 78,1%
UEa = 92,5%	UEa = 82,8%
CV = 0,05	CV = 0,24
Emissores Novos	5% dos emissores entupidos totalmente
01 emissor/planta	01 emissor/planta
	CUC = 90,1%
	UE = 80,6%
	UEa = 85,2%
	CV = 0,17
	5% dos emissores totalmente entupidos
)2 emissores/planta

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - O ambiente da pesquisa

Os trabalhos de campo do presente estudo foram desenvolvidos no município de Itapajé, Ceará, "Sítio Ferros", propriedade assistida pelo programa de desenvolvimento científico e tecnológico - PDCT/NE, em convênio com a Universidade Federal do Ceará - UFC, onde existe em operação um módulo de pesquisa com irrigação localizada, sistema xiquexique, com área de 8.448 metros quadrados. A coleta dos dados de campo ocorreu no período compreendido entre 15 de julho e 15 de outubro de 1985.

O módulo se constituía dos seguintes componentes:

- uma fonte d'água (poço amazonas) com vazão para irrigar a área considerada no projeto, e que se situava a 150 metros da área irrigada;

- uma estação de bombeamento formada por um conjunto de letrobomba, de baixa potência, e que pressurizava a água na tubulação conduzindo-a às plantas através da rede de tubos plásticos;

- uma rede de tubos de polietileno, tratado para evitar rápida deteriorização pela ação do sol, chuvas e ventos, de consistência rígida, e nos diâmetros nominais de 1 1/2 polegada e 1 1/4 polegada, formava a linha principal e as linhas secundárias. As linhas laterais, ou porta-emissores, eram de polietileno tratado, flexível, no diâmetro nominal de meia polegada (0,5). A linha principal e as linhas secundárias ficaram enterradas no solo, enquanto que as laterais se situavam sobre o solo, obedecendo o sentido dos menores declives, aproximadamente em nível, sendo alimentadas por uma das extremidades;

- os pontos de descarga nas laterais, os emissores,

eram orifícios abertos diretamente na tubulação por intermédio de agulha do tipo veterinária e apresentavam diâmetro médio de 1,6mm.

A tubulação dominava espacialmente toda a área do módulo de irrigação, formando quatro (04) unidades, sendo que duas destas, formadas de cinco linhas laterais cada uma, formavam o lote "A" e as outras duas unidades com 06 linhas laterais, cada uma, formavam o lote "B" perfazendo no total 22 linhas laterais de irrigação.

As linhas laterais, de 48m, apresentavam 16 furos (emissores) ao longo de seu comprimento, totalizando 352 emissores no módulo (ver FIGURA 06).

3.2 - Obtenção dos dados de campo

Para obtenção dos dados de campo foram realizadas três (03) medições da vazão e da pressão em todo o módulo, durante três (03) meses de funcionamento normal do sistema testado.

O funcionamento do sistema ocorria, unidade por unidade de rega e eram gastas, em média, duas horas de duração da irrigação para cada unidade, independentemente da condição de pertencer a unidade ao lote "A" ou "B", diferenciando das recomendações de projeto que determinavam uma hora e cinquenta minutos para as unidades do lote "A" e duas horas e meia para as unidades do lote "B".

As vazões, tanto nos emissores quanto nas laterais, foram obtidas com o auxílio de uma proveta graduada com capacidade para medir até 1.000 mililitros, e de um cronômetro, tendo-se utilizado como tempo de referência nas medições das vazões, um minuto. As vazões foram avaliadas nos emissores e nas entradas e saídas das linhas laterais.

Utilizando-se dois manômetros, um com sensibilidade para medir até 04kgf/cm², adaptado com tubo de pitot, foram então medidas as pressões da água nos emissores e nas laterais (entrada e saída).

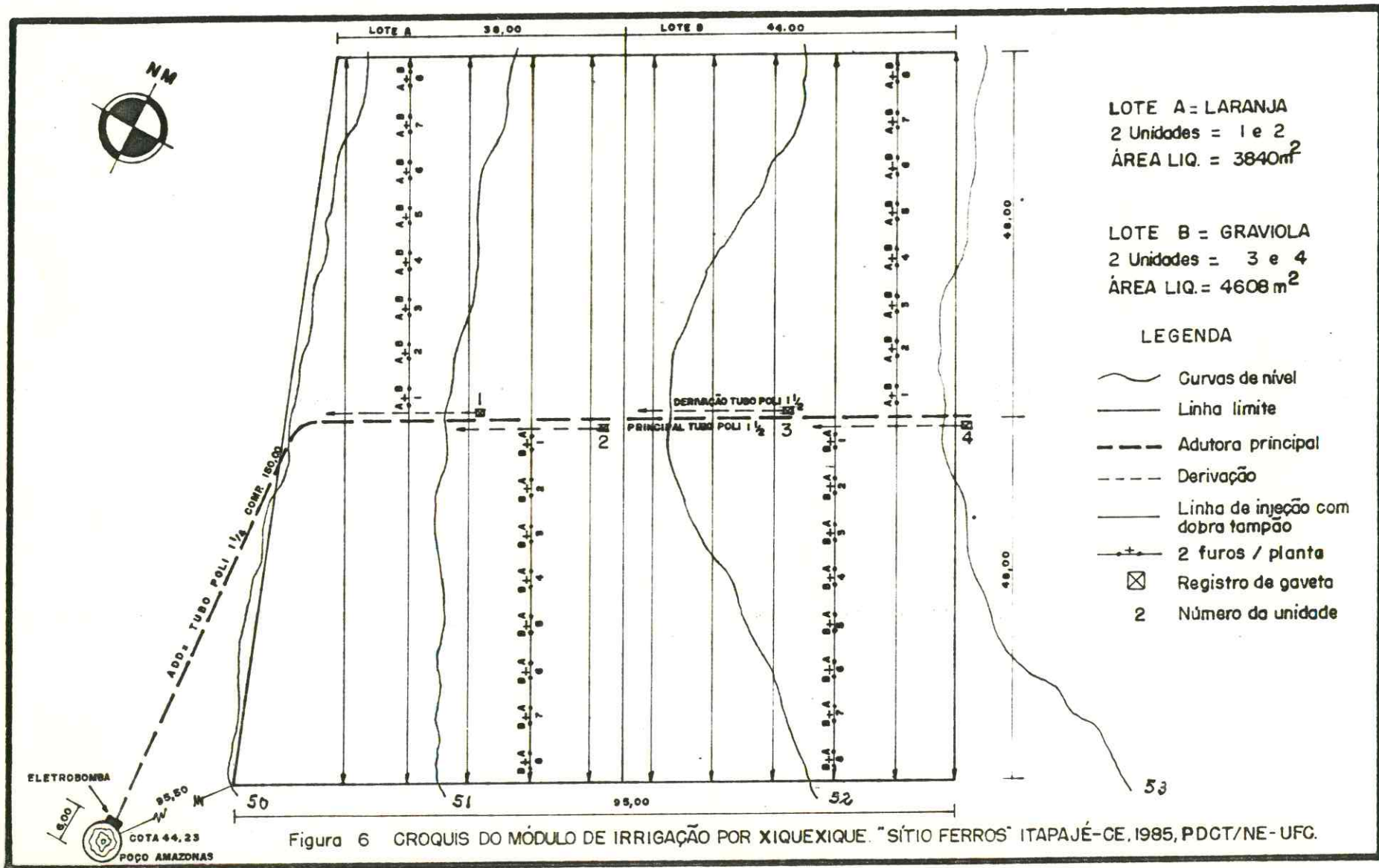


Figura 6 CROQUIS DO MÓDULO DE IRRIGAÇÃO POR XIQUEXIQUE. "SÍTIO FERROS" ITAPAJÉ-CE, 1985, PDCT/NE- UFC.

Não foram obtidos dados de campo relativos às produções das culturas perenes implantadas, vez que, estas culturas perenes (laranja e graviola) não apresentaram safra no primeiro ano de operação do projeto. As culturas intercalares (temporárias), no caso, feijão e melão, apresentaram produções irrisórias embora hajam vegetado convenientemente.

3.3 - Metodologia de cálculo das características hidráulicas dos emissores

Para obtenção das características hidráulicas dos emissores, foram calculados a equação de fluxo e o coeficiente de variação de fabricação do emissor, elementos considerados importantes na avaliação técnica do sistema. Com o objetivo de se obter a equação característica da vazão do emissor em função da pressão, foi aplicada a regressão linear para modelo multiplicativo do tipo potencial, linearizado, como se demonstra:

A equação que caracteriza matematicamente a vazão do emissor no sistema de irrigação xiquexique é a seguinte:

$$Y = b_0 \cdot X^{b_1} \quad (16)$$

sendo: Y = vazão

X = pressão

b_0 e b_1 = coeficientes

A equação (16), linearizada, toma a forma:

$$\log \hat{Y} = \log b_0 + b_1 \log X \quad (17)$$

Sendo que as equações para obtenção dos coeficientes b_1 e b_0 , são:

$$b_1 = \frac{n \sum X_1 Y_1 - (\sum X_1)(\sum Y_1)}{n \sum X_1^2 - (\sum X_1)^2} \quad (18)$$

$$b_0 = \bar{Y}_1 - b_1 \bar{X}_1 \quad (19)$$

sendo: $Y_1 = \log Y$ e $X_1 = \log X$

$$\bar{Y}_1 = \frac{\sum Y_1}{n} \quad \text{e} \quad \bar{X}_1 = \frac{\sum X_1}{n}$$

Para obtenção do coeficiente de variação de fabricação do emissor, foram aplicadas as equações seguintes:

$$CV = S/\bar{q} \quad (20)$$

sendo: S = desvio padrão da amostra
 \bar{q} = vazão média do emissor

A equação que define o desvio padrão é:

$$S = \left[\frac{n}{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2 / (n - 1)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (21)$$

3.4 - Parâmetros de uniformidade e eficiência, segundo a metodologia de KARMELI E KELLER (1975)

Para a avaliação de campo da irrigação por gotejamento, os valores da uniformidade de aplicação são obtidos através de dois parâmetros básicos: a uniformidade de emissão (UE) que envolve a relação entre 1/4 das menores vazões dos emissores dentro do sistema e a média geral das descargas dos emissores, e a uniformidade de emissão absoluta (UEa) que relaciona 1/4 das menores vazões e 1/8 das maiores vazões dos emissores dentro do sistema com a média geral das vazões dos emissores. A representação matemática destes parâmetros são as duas equações que se seguem:

$$UE = 100 \cdot \bar{q}_n / \bar{q}_a \quad (22)$$

onde: \bar{q}_n = média de 1/4 das menores vazões dos emissores (l/h)

\bar{q}_a = média geral das vazões dos emissores (l/h)

$$UE_a = 100 \cdot 1/2 (\bar{q}_n / \bar{q}_a + \bar{q}_a / \bar{q}_x) \quad (23)$$

onde: \bar{q}_x = média de 1/8 das maiores vazões dos emissores (l/h)

Segundo os autores, embora se trate de conceitos primários, são de fato, suficientemente capazes, de demonstrar a capacidade do sistema de irrigar adequadamente a menor área molhada, tendo sido aceitas internacionalmente, recomendadas pelo Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos. A Uniformidade de Emissão e a Uniformidade de Emissão Absoluta são adotadas neste estudo de caso como parâmetros de avaliação técnica do sistema de irrigação xiquexique.

Obedecendo metodologia descrita por WALKER (1979), fundamentada na teoria de KARMELI E KELLER (1975), a avaliação de campo do sistema xiquexique se baseia na aplicação da equação potencial de KARMELI et alii (1973) como modelo matemático de distribuição dos dados. Desta forma, foi aplicada a equação seguinte para caracterizar a distribuição matemática dos dados:

$$\bar{q} = \bar{q}_{m\acute{a}x} - \Delta\bar{q}F^r \quad (24)$$

sendo: \bar{q} = descarga adimensional do emissor

$\bar{q}_{m\acute{a}x}$ = descarga máxima adimensional do emissor

$\bar{q}_{m\acute{i}n}$ = descarga mínima adimensional do emissor

$\Delta\bar{q} = \bar{q}_{m\acute{a}x} - \bar{q}_{m\acute{i}n}$

F = freqüência acumulada

r = constante característica da curva ajustada

O valor de F, da equação anterior, foi determinado pela seguinte equação:

$$F = \left[\frac{\bar{q} - \bar{q}_{\text{máx}}}{\bar{q}_{\text{min}} - \bar{q}_{\text{máx}}} \right]^{1/r} \quad (25)$$

O parâmetro "r" da equação anterior foi obtido integrando-se a equação (24), levando-se em consideração que a área sob a curva de frequência acumulada é unitária, isto é, para os limites 0,0 e 1,0 de frequência acumulada. A demonstração matemática para obtenção do parâmetro "r" é dada a seguir:

$$1,0 = \int_0^1 \bar{q}_{\text{máx}} dF - \Delta\bar{q} \int_0^1 F^r dF = \bar{q}_{\text{máx}} - \frac{\Delta\bar{q}}{r+1}$$

$$r = \frac{\Delta\bar{q}}{\bar{q}_{\text{máx}} - 1} - 1 \quad (26-A)$$

Enquanto que a Uniformidade de Emissão (UE) foi obtida pela integração da equação (24) porém para os limites de frequência acumulada 0,75 e 1,0 correspondendo a 25% das menores vazões dos emissores, em consonância com a teoria de KARMELI E KELLER (1975). A demonstração matemática é feita como se segue:

$$UE = 100 \cdot \frac{q_n}{q_a} = \int_{0,75}^{1,00} \bar{q}_{\text{máx}} dF - \Delta\bar{q} \int_{0,75}^{1,00} F^r dF$$

$$UE = 100 \cdot \left[0,25 \bar{q}_{\text{máx}} - \frac{\Delta\bar{q}}{r+1} (1,0 - 0,75^{r+1}) \right] \quad (26-B)$$

A FIGURA 07 mostra uma definição esquemática do diagrama de frequência acumulada para o sistema de fluxo dos emissores na irrigação por gotejamento apresentada por WALKER (1979).

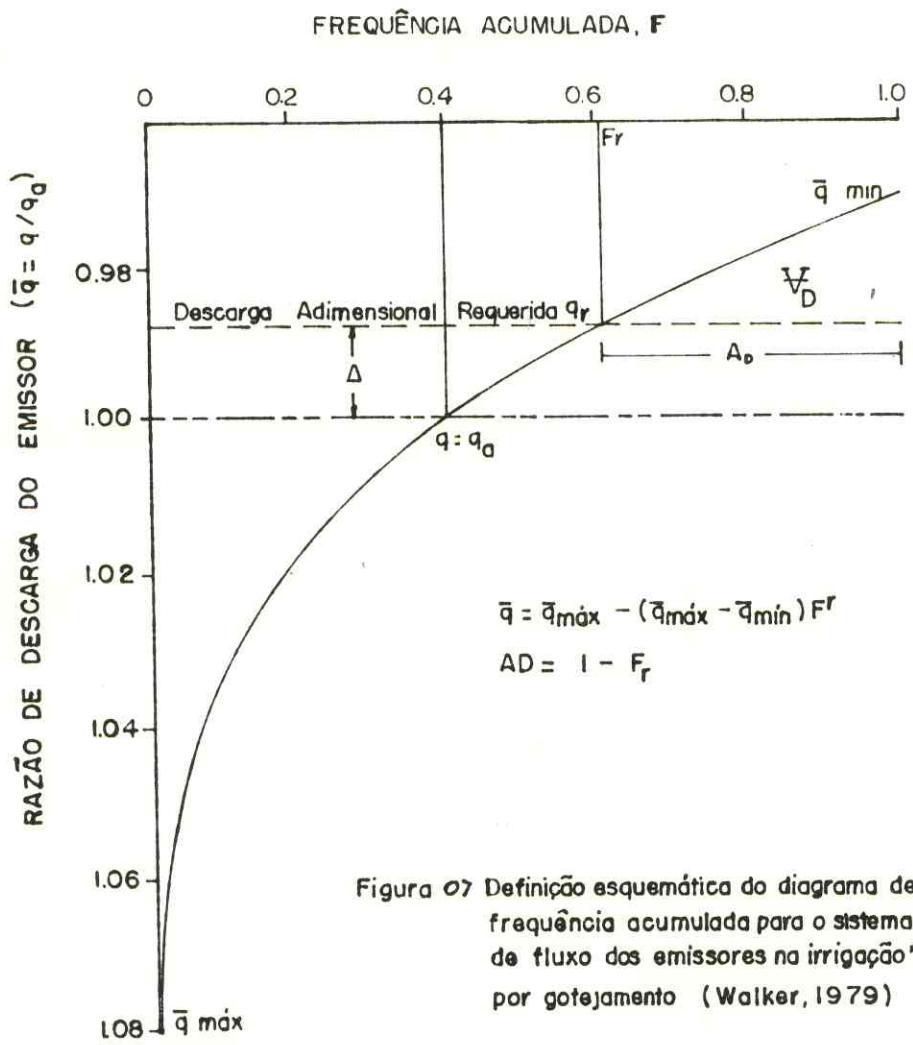


Figura 07 Definição esquemática do diagrama de frequência acumulada para o sistema de fluxo dos emissores na irrigação por gotejamento (Walker, 1979)

WALKER (1979) também explica que a análise de um sistema de irrigação por gotejamento deve começar com o diagrama de frequência acumulada e envolve dois tipos de avaliação: a avaliação da eficiência de aplicação planejada (de projeto) e a eficiência de aplicação para o sistema em operação.

No primeiro caso, a eficiência é representada pela relação entre o volume de água requerido pela cultura para abastecer o solo de umidade em nível desejado. Neste caso o sistema deve ser projetado igualmente àqueles em que o volume de água total aplicado deve ser entregue ao solo pelos emissores em especificado intervalo de tempo. Para o caso de um único emissor, teremos:

$$E_a = \frac{q_r \cdot t_r}{q_i \cdot t_r} \quad (27)$$

onde: E_a = eficiência de aplicação (%)
 q_r = descarga requerida (l/h)
 q_i = descarga real do emissor (l/h)
 t_r = tempo requerido para aplicação da água requerida no solo (h)

Quando se considere a unidade de rega, como um todo, teremos:

$$E_a = \frac{\bar{q}_r - V_d}{1} \quad (28)$$

sendo: \bar{q}_r = descarga adimensional requerida

$\bar{q}_r = q_r / q_a$ q_r = descarga requerida (l/h)
 q_a = descarga média dos emissores (l/h)

V_d = volume hídrico adimensional deficiente

Utilizando-se o modelo matemático descrito anteriormente, a eficiência de aplicação planejada assumiu a seguinte forma:

$$E_a = \bar{q}_r F_r + \bar{q}_{\text{máx}} (1 - F_r) - \frac{\Delta \bar{q}}{r+1} (1 - F_r^{r+1}) \quad (29)$$

sendo: F_r = freqüência associada a \bar{q}_r , cuja representação matemática é feita como se demonstra:

$$F_r = \exp \left[\frac{\ln \left[\frac{\bar{q}_{\text{máx}} - \bar{q}_r}{\Delta \bar{q}} \right]}{r} \right] \quad (30)$$

Desta forma pode-se obter os valores de eficiência de aplicação planejada para as quatro unidades de rega, e por média aritmética, a eficiência de todo o módulo. Enquanto que no segundo caso, leva-se em conta o fato de que ao ser operado o sistema, o fluxo dos emissores pode sofrer incrementos, tornando-os maiores que os requeridos pela cultura irrigada, conduzindo o sistema para variadas eficiências ou apresentando áreas deficientemente irrigadas. Portanto, a mudança na eficiência de aplicação conduz a mudanças no tempo de operação, e assim, a equação que demonstra matematicamente a eficiência de um único emissor passa a ser:

$$E_a = \frac{q_r \cdot t_r}{q_i \cdot t_a} \quad (31)$$

onde: t_r = tempo requerido para aplicar ao solo a umidade necessária na zona de raízes.

t_a = tempo de aplicação da água pelo emissor, cujo valor poderá ser igual, maior ou menor que t_r .

Pela análise conjunta das equações (27) e (31), vem:

$$E'_a = E_a \cdot (t_r/t_a) \quad (32)$$

onde: E'_a = eficiência de aplicação operacional

Para a obtenção dos valores relativos à eficiência

de aplicação operacional utilizando-se o modelo matemático descrito, foi necessário substituir o valor de \bar{q}_r por \bar{q}'_r , sendo $\bar{q}'_r = \bar{q}_r(t_r/t_a)$, nas equações (29) e (30) como se demonstra a seguir:

$$E'_a = \bar{q}'_r (t_a/t_r) F'_r + \bar{q}'_{m\acute{a}x} (1 - F'_r) - \frac{\Delta\bar{q}}{r+1} (1 - F'^{r+1}_r) \quad (33)$$

$$F'_r = \exp \left[\frac{\ln \left[\frac{\bar{q}'_{m\acute{a}x} - \bar{q}'_r(t_r/t_a)}{\Delta\bar{q}} \right]}{r} \right] \quad (34)$$

Neste estudo de caso foram consideradas duas relações entre o tempo requerido e o tempo realmente utilizado no campo (t_r/t_a), vez que as duas unidades de rega do lote "A" tinham um tempo de operação, planejado em projeto, em uma hora e cinquenta minutos, enquanto que, as duas unidades do lote "B", duas horas e meia.

A uniformidade de aplicação foi ainda calculada neste estudo de caso levando-se em consideração o coeficiente de variação de fabricação do emissor (CVF), seguindo-se também a metodologia de KARMELI E KELLER (1975). A equação matemática que representa a uniformidade de emissão é dada como se segue:

$$UE = 100 \left(1 - \frac{1,27 \text{ CVF}}{\sqrt{e}} \right) q'_n/q_a \quad (35)$$

sendo: CVF = coeficiente de variação de fabricação do emissor (%)

q'_n = descarga mínima do emissor computada com a mínima pressão (l/h)

q_a = descarga média de todos os emissores (l/h)

Observe-se que a primeira parte desta equação (35) representa a uniformidade de irrigação devido as variações de fabricação do emissor, normalmente apresentado pelo fabricante do emissor, enquanto que, a segunda parte diz respeito à variação do fluxo devido as variações de pressão.

Com esta observação e seguindo a metodologia de KARMELI E KELLER (1975), pôde-se calcular a primeira parte da equação (35) utilizando-se a razão de descarga manufaturada ajustada (AMDR), como se demonstra:

$$\text{AMDR} = (1 - 1,27 \text{ CVF})/\sqrt{e} \quad (36)$$

onde: e = nº de emissores/planta

A segunda parte da equação (35) foi calculada também com base na metodologia de KARMELI E KELLER (1975) que estabeleceram gráficos nos quais estes autores relacionaram as razões das mínimas descargas e máximas descargas com a razão de perda de carga para laterais com diâmetro constante em campos nivelados, usando emissores com vários expoentes de descarga (x). Para o presente estudo de caso a avaliação da uniformidade foi feita em função da uniformidade de emissão (UE) que utiliza apenas a relação das mínimas descargas com a razão da perda de carga para laterais com diâmetro constante, conforme gráfico da FIGURA 08.

A razão das mínimas descargas pode ser representada matematicamente pela seguinte equação:

$$q_n/q_a = 1,0 - (0,22 \cdot x \cdot \frac{\Delta H_1}{H_a}) \quad (37)$$

sendo: ΔH_1 = perda de carga na lateral (m)

H_a = pressão que corre a aproximadamente 40% do início da lateral e equivalendo à pressão média na lateral (m)

x = expoente de descarga do emissor

Para se avaliar a uniformidade de aplicação dentro

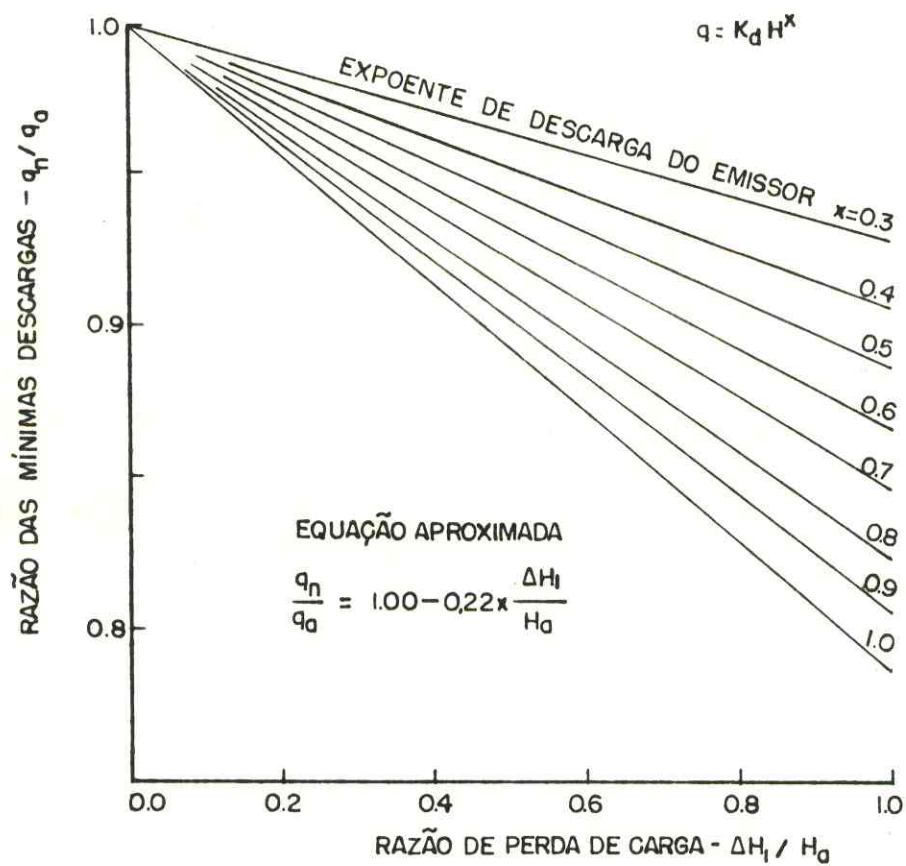


Figura 08 Razão das mínimas descargas na lateral em função das perdas de carga para laterais de diâmetro uniforme, em campo nivelado, usando-se emissores com vários expoentes de descarga (Karmeli e Keller, 1975)

da unidade de rega, como um todo, foi obedecida metodologia apresentada por estes autores que considera como uniformidade do sistema (módulo) aquela relativa á lateral com a menor distribuição d'água dentro da unidade de rega, isto é, nas condições mais adversas.

Desta forma, calculou-se a UE para a linha lateral que apresentou a mais baixa pressão de entrada dentro da unidade de rega, tendo sido seu resultado multiplicado pela razão das mínimas descargas na linha principal (Q_n/Q_a).

Para o cálculo das perdas de carga na lateral de mais baixa pressão de entrada foi utilizada a equação de HAZEN-WILLIAMS, como se demonstra a seguir:

$$J = K(Q_p/C)^{1,852} D^{-4,87} \quad (38)$$

onde: J = gradiente de perda de carga (m/100m)

Q_p = taxa de vazão na lateral (l/s)

C = coeficiente de fricção para seção contínua de cano. Utilizou-se o valor de "C" como 144 por ser recomendado como o mais conveniente para canos lisos de PVC, baixa pressão.

D = diâmetro da tubulação (mm)

K = constante ($1,21 \cdot 10^{12}$ para unidades métricas)

Pela equação (38) foi obtido o gradiente de perda de carga na lateral. Para o cálculo da perda de carga na lateral foi utilizada a equação proposta por KARMELI E KELLER (1975), fazendo-se uso do coeficiente de GEORING (1976), $F(n^\circ)$, para compensar a abertura dos furos ao longo da lateral.

As perdas de carga na lateral foram calculadas como se demonstra:

$$\Delta H_1 = \frac{J \cdot L}{100} \cdot F(n^\circ) \quad (39)$$

sendo: $F(n^\circ) = 0,63867 (16^{-1,8916}) + 0,35929$ (coeficiente de redução de perda de carga)

n° = número de saídas na lateral
 L = comprimento da lateral (m)
 J = gradiente de perda de carga (m/100m)

Para o cálculo da razão das mínimas descargas na linha principal (Q_n/Q_a), utilizou-se a equação proposta por KARMELI E KELLER (1975), demonstrada a seguir:

$$Q_n/Q_a = 1,0 - R_{fn} \cdot X \cdot \frac{\Delta H_m}{H_A} \quad (40)$$

sendo: Q = taxa de vazão mínima na "principal"
 Q = taxa de vazão média na "principal"
 X = expoente de descarga na "principal"
 R_{fn} = razão de ajustamento da mínima vazão
 $R_{fn} = 0,22$ para a linha principal sem redução de diâmetro, como é o caso do presente estudo.

As perdas de carga na linha principal foram calculadas pela seguinte equação:

$$\Delta H_m = \frac{J \cdot L_m}{100} \cdot F \quad (41)$$

onde: ΔH_m = perda de carga por fricção na "Principal"
 L_m = comprimento da "principal"
 F = fator de redução de perda de carga

Para obtenção do expoente "X" foi observado o gráfico desenvolvido por KARMELI E KELLER (1975). A FIGURA 09 mostra o gráfico de KARMELI E KELLER (1975) no qual estão relacionados os expoentes de descarga da linha lateral "X" e as razões de perda de carga $-\Delta H_1/H_a$ para expoentes de descarga do emissor "x".

Embora estes autores hajam atestado que quando $\Delta H_m/H_A < 0,5$ a uniformidade de emissão (UE) da lateral que apresenta menor pressão de entrada é praticamente igual à uniformidade de emissão (UE) da lateral que apresenta pressão média ao longo da linha principal, para maior precisão

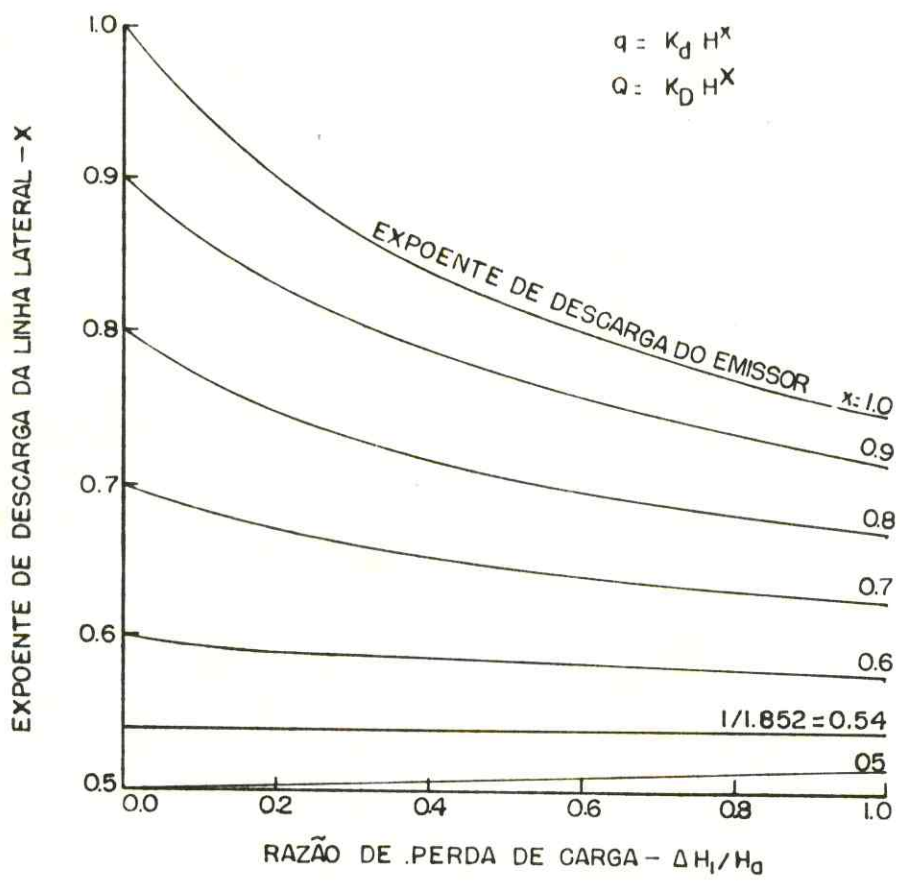


Figura 09 Relação entre o expoente de descarga da lateral e a razão de perda de carga para vários expoente de descarga do emissor.

nos resultados, neste estudo de caso, a uniformidade de emissão do sistema foi calculada pela equação proposta por KARMELI E KELLER (1975), como demonstramos a seguir:

$$UE_s = UE \cdot \frac{Q_n}{Q_a} \quad (42)$$

sendo: Uniformidade de emissão do sistema (módulo) = UE_s
Uniformidade de emissão da lateral que apresenta menor pressão de entrada = UE

De posse dos dados obtidos para uniformidade e eficiência do sistema avaliado, foi construída uma tabela destes resultados que serviu de base às conclusões obtidas.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Características hidráulicas do emissor

Os dados de vazão e pressão dos emissores para as linhas laterais de cada unidade de rega (1, 2, 3 e 4) são apresentados nas TABELAS 2, 3, 4 e 5, respectivamente.

Para obtenção da equação característica da vazão do emissor em função da pressão, bem como para a determinação da correlação entre as variáveis estudadas, a análise estatística indicou as seguintes equações para cada unidade de rega:

$$\text{Unidade de rega 01} \quad q = 9,7753 H^{1,1458} \quad (43)$$

$$\text{Unidade de rega 02} \quad q = 18,8851 H^{0,8049} \quad (44)$$

$$\text{Unidade de rega 03} \quad q = 24,6222 H^{0,6399} \quad (45)$$

$$\text{Unidade de rega 04} \quad q = 25,3278 H^{0,5396} \quad (46)$$

A equação média para o módulo é a seguinte:

$$q = 19,65 H^{0,78} \quad (47)$$

Nas equações apresentadas (43-47) H está em metros de coluna d'água (m) e q em litros por hora (l/h).

A TABELA 06 apresenta as variações de pressão e vazão nas linhas laterais, para as quatro unidades de rega. Como pode ser observado, a variação da pressão (ΔH) nas laterais situa-se entre 28,5 e 53,0%, com uma média geral de 38,1%. A unidade de irrigação número 03 foi a que apresentou o maior valor. Com relação à variação de vazão os valores variam entre 11,5% e 36,7%, com uma média de 29,8%. Esta

grande variação na pressão e na vazão das linhas laterais está diretamente associada ao caráter artesanal do manejo da irrigação xiquexique. Os constantes entupimentos dos furos, apesar dos altos valores de vazão relativos à irrigação por gotejamento, juntamente com o procedimento utilizado para o desentupimento dos mesmos, que se utiliza de arame, alteram as seções de escoamento. Deve-se observar que o próprio processo de perfuração dos furos quando da instalação do sistema é completamente artesanal, o que apresenta a tendência à variação exagerada dos parâmetros analisados.

Outro parâmetro básico para a caracterização hidráulica dos emissores na irrigação localizada é o coeficiente de variação que no caso dos emissores industrialmente fabricados é um dado fornecido pelo fabricante. Com o objetivo de caracterizar os emissores do caso em estudo os coeficientes de variação foram calculados a partir dos dados de campo e os resultados são apresentados na seguinte tabela:

Unidade de irrigação	CV(%)
01	29,2
02	32,3
03	36,7
04	21,0

Estes valores são considerados elevados se comparados a emissores fabricados industrialmente. Uma comparação feita com informações apresentadas por SAMPAIO et alii (1983), que relatam valores para o coeficiente de fabricação artesanal dos emissores "xiquexique" entre 10% e 20%, mostra que os resultados acima apresentados são um pouco superiores porém podem ser considerados aceitáveis.

TABELA 02 - Valores de vazão (l/h) e pressão (mca) dos emissores da unidade de rega 01.

Posição relativa do emissor	q (l/h)	H (m)	q (l/h)	H (m)	q (l/h)	H (m)	q (l/h)	H (m)	q (l/h)	H (m)
1/8 do comprimento da linha lateral	76,80	6,20	37,80	5,48	105,00	6,20	73,22	4,65	51,60	6,20
	42,96	4,50	44,20	5,48	42,78	4,30	43,62	4,30	60,42	6,02
2/8 do comprimento da linha lateral	83,16	5,68	48,72	5,16	37,98	3,79	40,20	3,96	52,80	5,85
	30,96	3,82	29,40	4,40	45,48	3,79	34,02	3,79	50,22	5,16
3/8 do comprimento da linha lateral	45,00	4,13	55,02	4,34	48,00	3,79	33,18	3,79	41,22	5,50
	36,78	4,13	48,18	4,13	46,62	3,27	38,82	3,96	47,58	5,34
4/8 do comprimento da linha lateral	45,36	4,13	41,82	3,62	31,20	3,27	28,62	3,79	81,42	6,02
	35,98	3,41	42,18	3,62	36,00	3,44	31,62	3,44	38,58	5,00
5/8 do comprimento da linha lateral	47,82	3,82	38,40	3,82	30,78	3,79	32,58	3,62	45,60	4,65
	33,42	3,62	53,82	3,82	35,22	3,79	40,20	3,44	52,38	4,30
6/8 do comprimento da linha lateral	27,18	3,82	35,40	4,13	35,58	3,79	33,60	3,10	35,58	3,96
	38,40	3,82	33,78	3,62	31,80	3,62	30,18	3,44	42,18	4,30
7/8 do comprimento da linha lateral	32,58	3,62	36,18	3,62	40,98	3,44	38,58	3,62	39,18	4,30
	30,42	3,31	26,58		3,62	40,98	3,44	3,62	39,18	4,30
8/8 do comprimento da linha lateral	32,40	3,40	27,78	3,27	51,60	3,79	48,78	3,62	50,82	4,30
	39,18	4,54	39,00	3,62	43,62	3,79	36,60	3,62	44,22	3,96
		(L1)		(L2)		(L3)		(L4)		(L5)

TABELA 03 - Valores de vazão (l/h) e pressão (mca) dos emissores da unidade de rega 02.

Posição relativa do emissor	q (l/h)	H (m)	q (l/h)	H (m)	q (l/h)	H (m)	q (l/h)	H (m)	q (l/h)	H (m)
1/8 do comprimento da linha lateral	47,22	4,48	133,38	6,02	39,78	3,44	118,02	6,89	50,82	4,82
	49,02	4,48	42,48	4,30	40,48	3,27	52,62	3,96	53,82	4,82
2/8 do comprimento da linha lateral	41,58	3,79	47,58	4,48	31,02	2,75	51,78	3,96	40,20	3,96
	57,18	4,13	35,40	4,13	37,20	3,10	49,80	3,79	31,38	3,96
3/8 do comprimento da linha lateral	51,00	3,61	49,02	4,30	26,58	2,75	55,20	3,79	40,62	3,44
	39,42	3,27	40,20	4,30	30,00	2,75	43,62	3,62	46,38	3,62
4/8 do comprimento da linha lateral	39,60	3,10	73,98	3,96	29,58	2,75	28,62	3,27	40,98	3,62
	49,38	3,10	35,22	3,10	4,40	2,93	34,38	3,10	35,22	3,44
5/8 do comprimento da linha lateral	40,80	3,10	49,38	3,27	27,00	2,75	51,42	2,93	37,62	3,62
	45,72	3,44	47,93	2,93	34,62	2,93	38,82	2,93	43,02	3,44
6/8 do comprimento da linha lateral	45,00	3,44	51,60	3,27	32,22	2,58	55,02	3,27	43,62	3,27
	42,30	3,27	40,98	3,10	32,52	2,58	32,82	2,93	33,60	3,27
7/8 do comprimento da linha lateral	63,60	3,44	65,82	3,27	36,48	2,41	32,18	3,10	46,62	3,10
	52,98	3,27	61,62	3,10	99,60	3,44	46,80	2,93	44,82	3,27
8/8 do comprimento da linha lateral	41,40	3,67	35,22	2,93	33,48	2,24	41,22	2,93	51,18	3,44
	-	-	38,82	2,75	31,62	2,24	44,82	3,10	46,02	3,44
		(L1)		(L2)		(L3)		(L4)		(L5)

TABELA 04 - Valores de vazão (l/h) e pressão (mca) dos emissores da unidade de rega 03.

Posição relativa do emissor	q (l/h)	H (m)	q (l/h)	H (m)	q (l/h)	H (m)	q (l/h)	H (m)	q (l/h)	H (m)	q (l/h)	H (m)
1/8 do comprimento da linha lateral	97,20	12,74	61,20	8,26	121,62	10,33	50,82	9,64	39,60	5,85	47,82	5,34
2/8 do comprimento da linha lateral	68,40	12,40	61,62	6,71	55,62	7,40	27,18	2,58	55,98	5,68	40,80	4,82
3/8 do comprimento da linha lateral	61,38	10,67	50,40	6,89	41,40	6,37	32,82	2,58	34,80	5,68	39,60	4,13
4/8 do comprimento da linha lateral	64,02	10,67	41,58	7,23	43,20	5,51	40,38	2,41	46,20	4,48	39,18	3,44
5/8 do comprimento da linha lateral	59,22	10,33	64,02	5,16	36,78	4,82	94,98	2,24	27,60	3,96	31,38	2,41
6/8 do comprimento da linha lateral	68,40	9,99	52,98	4,82	38,82	4,48	25,98	1,89	35,22	3,79	34,38	2,24
7/8 do comprimento da linha lateral	38,70	8,95	62,22	4,30	36,78	4,13	26,58	1,89	33,60	3,62	34,02	2,24
8/8 do comprimento da linha lateral	64,80	8,44	47,58	3,62	33,78	5,34	67,20	1,89	48,42	3,79	34,02	2,41
			(L1)	(L2)	(L3)	(L4)	(L5)	(L6)				

TABELA 05 - Valores de vazão (l/h) e pressão (mca) dos emissores da unidade de rega 04.

Posição relativa do emissor	q (l/h)	H (m)	q (l/h)	H (m)	q (l/h)	H (m)	q (l/h)	H (m)	q (l/h)	H (m)	q (l/h)	H (m)
1/8 do comprimento da linha lateral	39,78	6,57	37,02	6,03	37,02	6,37	33,18	3,79	32,40	6,54	33,00	5,16
	42,78	6,54	50,22	6,03	36,42	6,03	34,98	3,79	35,58	6,54	31,92	5,16
2/8 do comprimento da linha lateral	37,80	6,37	49,38	5,34	41,58	5,85	25,62	3,44	41,22	5,85	30,60	4,82
	42,00	6,37	38,40	5,34	30,00	5,51	31,20	3,10	36,60	5,34	33,18	4,50
3/8 do comprimento da linha lateral	43,02	6,20	39,60	5,16	42,00	5,83	27,78	2,75	40,80	6,20	36,60	4,48
	34,38	5,34	31,98	4,48	39,78	5,34	29,22	3,10	33,18	5,68	36,00	4,82
4/8 do comprimento da linha lateral	33,00	4,82	46,02	4,30	41,82	5,34	33,42	2,75	63,18	5,85	32,58	4,48
	40,02	4,82	43,62	5,16	32,82	4,82	27,78	2,75	37,80	5,51	35,58	4,82
5/8 do comprimento da linha lateral	39,18	4,13	43,80	4,82	35,22	5,51	28,98	2,75	36,78	5,51	25,20	4,13
	33,18	3,79	43,62	5,16	30,42	5,51	27,18	2,75	30,18	5,51	37,98	4,65
6/8 do comprimento da linha lateral	33,60	3,79	41,22	4,13	46,62	5,85	31,98	2,75	39,18	4,65	42,78	4,48
	36,00	3,62	49,02	4,48	37,80	5,85	32,40	2,75	30,00	4,48	49,20	4,82
7/8 do comprimento da linha lateral	36,60	3,62	33,42	4,82	36,18	5,00	28,62	2,75	43,20	4,48	30,42	4,48
	31,98	3,44	44,58	5,16	34,20	4,65	27,78	2,75	31,80	4,48	32,22	4,82
8/8 do comprimento da linha lateral	46,98	4,48	46,80	5,16	37,98	5,00	29,22	2,58	42,60	5,16	27,00	4,48
	46,98	3,79	42,78	5,51	40,98	5,00	99,60	3,44	33,18	4,48	35,82	4,82
		(L1)		(L2)		(L3)		(L4)		(L5)		(L6)

TABELA 06 - Variação da pressão e da vazão das linhas laterais nas quatro unidades de rega.

Discriminação	Variação da pressão (ΔH) (%)	Variação da vazão (ΔQ) (%)
<u>Unidade de rega 01</u>		
Linha 01	27,4	49,0
Linha 02	40,0	26,5
Linha 03	38,9	58,4
Linha 04	221,	31,2
Linha 05	36,1	14,3
<u>Média</u>	32,9	35,9
<u>Unidade de rega 02</u>		
Linha 06	18,0	12,3
Linha 07	54,0	70,8
Linha 08	34,8	20,4
Linha 09	55,0	62,0
Linha 10	28,6	9,4
<u>Média</u>	38,1	35,0
<u>Unidade de rega 03</u>		
Linha 11	33,7	40,7
Linha 12	54,1	14,7
Linha 13	51,6	72,5
Linha 14	80,4	33,5
Linha 15	35,2	18,2
Linha 16	58,0	40,0
<u>Média</u>	53,0	36,7
<u>Unidade de rega 04</u>		
Linha 17	47,6	19,6
Linha 18	20,0	9,7
Linha 19	27,0	7,6
Linha 20	31,9	11,9
Linha 21	31,5	1,8
Linha 22	13,2	18,2
<u>Média</u>	28,5	11,5
<u>Média geral (Módulo)</u>	38,1	29,8

4.2 - A performance do sistema

A medida da qualidade da irrigação localizada, à semelhança dos outros métodos de irrigação, é feita por um parâmetro universalmente conhecido e denominado coeficiente de uniformidade de aplicação da água, o qual se constituiu a base de comparação dos resultados obtidos no estudo da performance do sistema testado.

Desta forma, para a determinação da performance do sistema xiquexique estudado, foram avaliados: a uniformidade de emissão e uniformidade de emissão absoluta, segundo metodologia descrita por KARMELI E KELLER (1975), a uniformidade de emissão calculada em função da equação potencial que caracteriza a distribuição dos dados na irrigação localizada, apresentada por KARMELI et alii (1978), a uniformidade de emissão estabelecida com base no coeficiente de variação de fabricação do emissor, e as eficiências de aplicação da água (projetada e para o sistema em operação), obedecendo metodologia descrita por WALKER (1979).

4.2.1 - A uniformidade de emissão (UE) e uniformidade de emissão absoluta (UEa)

Os dados de vazão dos emissores (l/h) e suas posições relativas nas linhas laterais são apresentados nas TABELAS 07-A e 07-B e se constituem a base de cálculo das uniformidades de emissão e emissão absoluta, cujos resultados são mostrados na tabela 08.

Com base em metodologia apresentada por MILLO E CUNHA (1982), foram calculadas: a eficiência geral relativa às quatro unidades de rega (1, 2, 3 e 4), e por média aritmética, a eficiência geral do módulo cujos resultados são descritos na TABELA 09.

Quando se observam os resultados obtidos pode-se concluir que a uniformidade de aplicação da água foi bem infe-

TABELA 07-A - Dados de vazão dos emissores (l/h) e a posição relativa destes nas linhas laterais.

Lote	Unidade de rega	Linha nº	Vazão dos emissores em (l/h)								Somas	Observações	
			Posição relativa dos emissores na linha										
			1/8	2/8	3/8	4/8	5/8	6/8	7/8	8/8			
A	01	1	59,88	57,06	40,89	35,67	40,62	32,79	31,50	35,79	334,20	Maior Vazão 73,89 l/h	
		2	41,01	39,06	51,60	42,00	46,11	34,59	31,38	33,39	319,14	Menor Vazão 30,12 l/h	
		3	73,89	42,54	47,31	33,60	33,00	33,69	38,10	47,61	349,74	Médias	
		4	48,42	37,11	36,00	30,12	36,39	31,89	48,18	42,69	310,80	25% menores vazões	
		5	56,01	51,51	44,40	60,00	48,99	38,88	36,39	47,52	383,70	32,595	
											TOTAL = 1.697,58	12,5% maiores vazões	
											MÉDIA = 42,439	61,368	
		02	6	48,12	49,38	45,21	44,49	43,26	43,65	58,29	47,19	379,59	Maior Vazão 87,93 l/h
	7		87,93	41,49	44,52	54,60	48,30	46,29	63,72	37,02	423,87	Menor Vazão 28,29 l/h	
	8		40,29	34,11	28,29	35,49	30,81	32,37	68,04	32,55	301,95	Médias	
9	85,32		50,79	49,41	31,50	45,12	43,92	44,49	43,02	393,57	25% menores vazões		
10	52,32		35,79	43,50	38,10	40,32	38,61	45,72	48,60	342,96	33,603		
										TOTAL = 1.841,94	12,5% maiores vazões		
										MÉDIA = 48,048	72,660		

TABELA 07-B - Dados de vazão dos emissores (l/h) e a posição relativa destes nas linhas laterais.

Lote	Unidade de rega	Linha nº	Vazão dos emissores em (l/h)								Somas	Observações
			Posição relativa dos emissores na linha									
			1/8	2/8	3/8	4/8	5/8	6/8	7/8	8/8		
		11	78,81	67,11	56,88	58,11	65,10	70,41	49,14	61,20	506,76	Maior Vazão 88,62 l/h
		12	58,59	63,90	49,50	60,03	78,90	51,78	51,90	49,89	464,49	Menor Vazão 27,00 l/h
	03	13	88,62	47,52	39,69	42,39	41,88	36,60	36,48	34,50	367,68	<u>Médias</u>
		14	37,20	28,20	30,90	71,88	71,70	29,88	27,00	50,49	347,25	25% menores vazões
		15	39,84	50,58	38,19	37,71	30,90	32,10	33,00	59,61	321,93	31,212
		16	47,40	41,10	71,31	55,89	33,18	31,68	32,01	31,20	343,77	12,5% maiores vazões
										TOTAL = 2.351,88	76,870	
										MÉDIA = 48,997		
		17	41,28	39,90	38,70	36,51	36,18	34,80	34,29	46,68	308,34	Maior Vazão 64,41 l/h
		18	43,62	43,89	35,79	44,82	43,71	45,12	39,00	44,79	340,74	Menor Vazão 28,08 l/h
	04	19	36,72	35,79	40,89	37,32	32,82	42,21	35,19	39,48	300,42	<u>Médias</u>
		20	34,08	28,41	28,50	30,60	28,08	32,19	28,20	64,41	274,47	25% menores vazões
		21	33,99	38,91	36,99	50,49	33,48	34,59	37,50	37,89	303,84	30,622
		22	32,46	31,89	36,30	34,08	31,59	45,99	31,32	31,41	275,04	12,5% maiores vazões
										TOTAL = 1.802,85	49,585	
										MÉDIA = 37,559		

TABELA 08 - Resultados dos cálculos das uniformidades de emissão (UE) e unidade de emissão absoluta (UEa), feitos com base na teoria de KARMELI E KELLER (1975).

"Unidade de Rega"	Uniformidade de Emissão UE - (%)	Uniformidade de Emissão UEa - (%)
01	76,80	73,00
02	73,00	68,17
03	63,70	63,72
04	81,50	78,60
MÓDULO	73,75	70,86

TABELA 09 - Resultados dos cálculos da eficiência geral (Eg), com base na recomendação descrita por MILLO E CUNHA (1982).

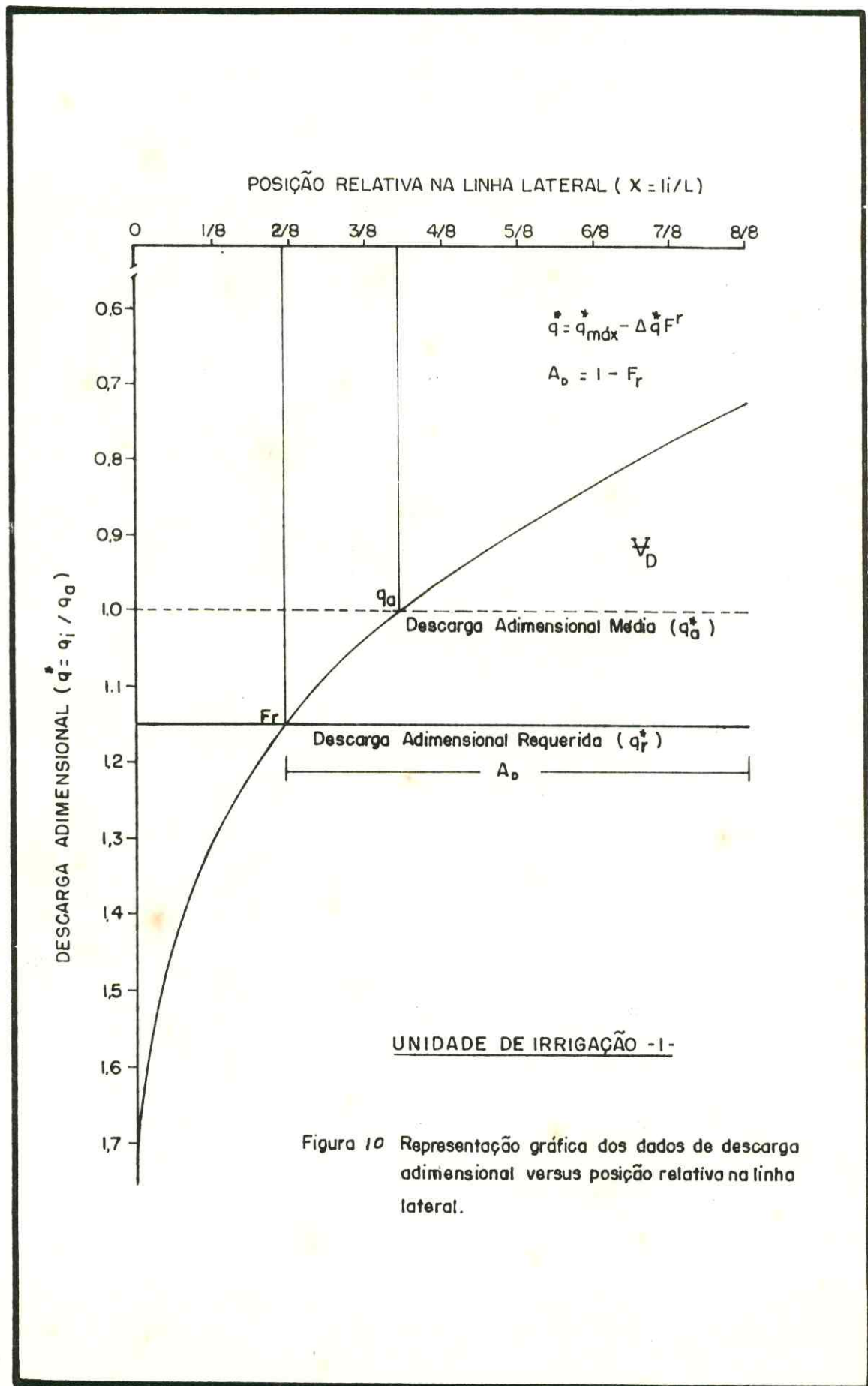
"Unidade de Rega"	Eficiência geral Eg - (%)	Observação
01	69,12	MILLO E CUNHA (1982), apresentaram um valor de 70% como sendo satisfatório para o sistema xiquexique.
02	65,70	
03	57,33	
04	73,35	
MÓDULO	66,37	

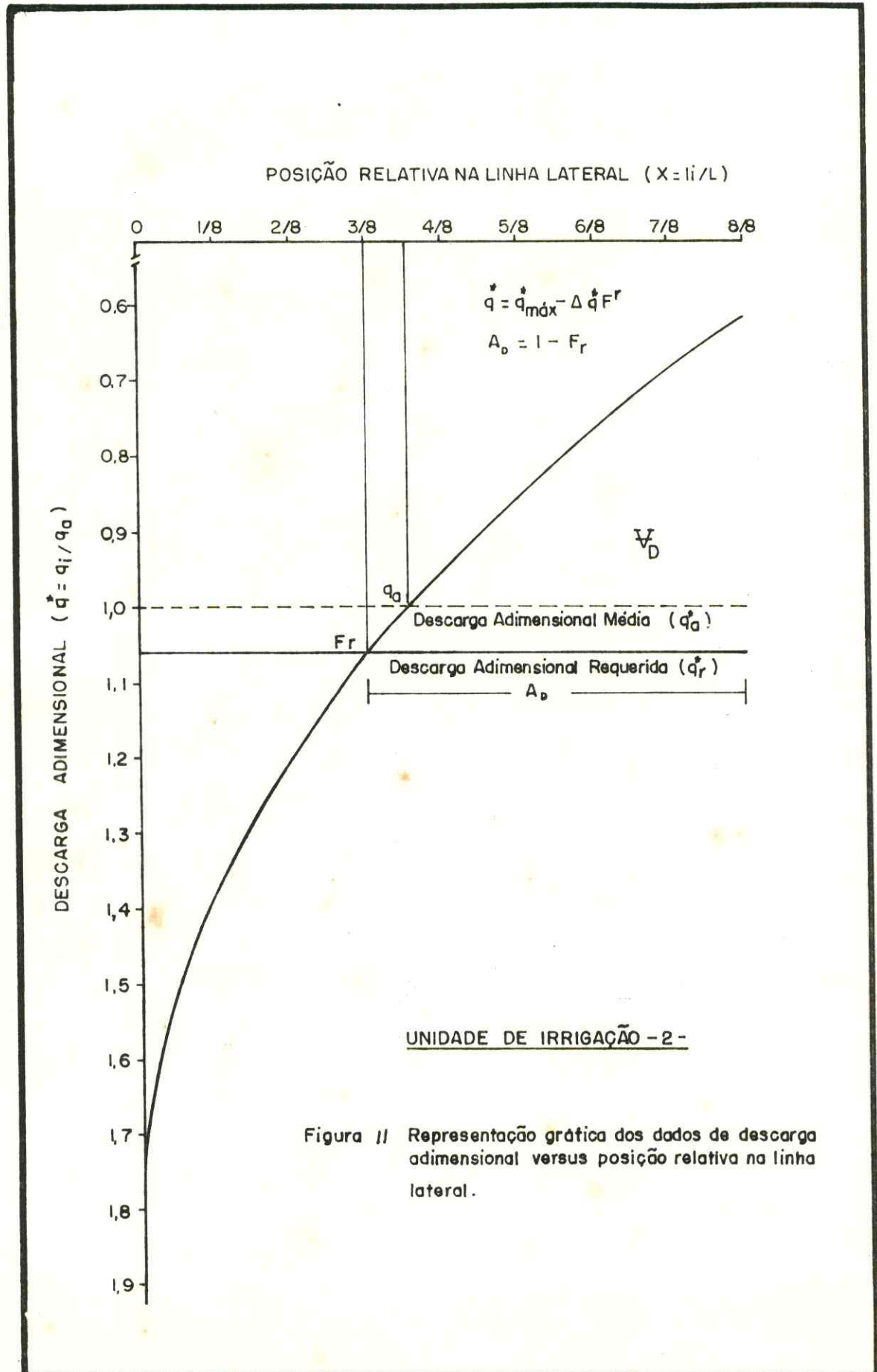
rior ao recomendado tecnicamente para a irrigação localizada em geral, que deve ser maior que 90%. A uniformidade de emissão variou entre 63,7% e 81,5%, tendo sido obtida uma uniformidade de emissão média de 73,7% para o módulo testado. Com relação à eficiência geral que se situou no valor de 66,3% para o módulo, é considerada baixa em termos de irrigação localizada. Porém, se comparado este valor obtido com o valor de 70%, considerado por MILLO E CUNHA (1982) como satisfatório para a irrigação "xiquexique", pode-se dizer que o sistema avaliado teve uma eficiência geral razoavelmente satisfatória.

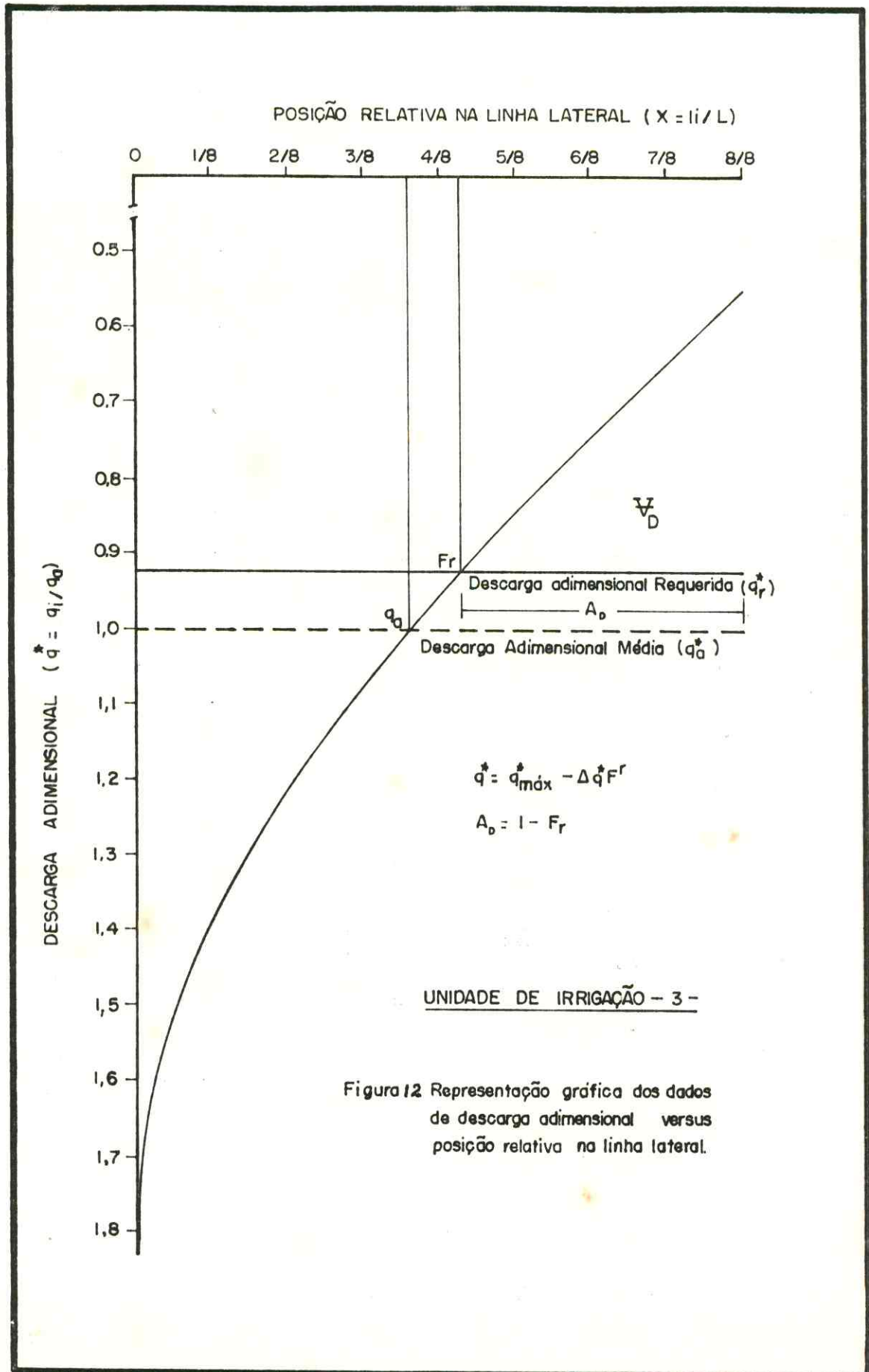
Levando-se em conta que o módulo de irrigação "xiquexique" estudado operava há aproximadamente um ano quando da coleta dos dados de campo, apresentando seus emissores desgastes em função dos constantes entupimentos ocorridos e o processo artesanal da eliminação dos mesmos, os baixos resultados obtidos para a eficiência e a uniformidade de aplicação da água podem ser considerados aceitáveis. Estes dados apresentam semelhança com os dados apresentados por NAKAYAMA E BRUCKS (1981), citados por RODRIGO (1983), para emissores com 5% do total em funcionamento completamente entupidos e, aproximadamente, um ano de funcionamento do sistema.

4.2.2 - A avaliação da uniformidade através do modelo matemático proposto por KARMELI et alii (1978)

Os diagramas formados pelas descargas adimensionais dos emissores versus frequência acumulada, para as quatro unidades de rega (FIGURAS 10, 11, 12 e 13), se constituem o passo inicial na avaliação do sistema através do modelo matemático de KARMELI et alii (1978). Esses diagramas foram obtidos a partir dos valores de descargas adimensionais dos emissores e suas posições relativas nas linhas laterais, apresentados nas TABELAS 10-A e 10-B.







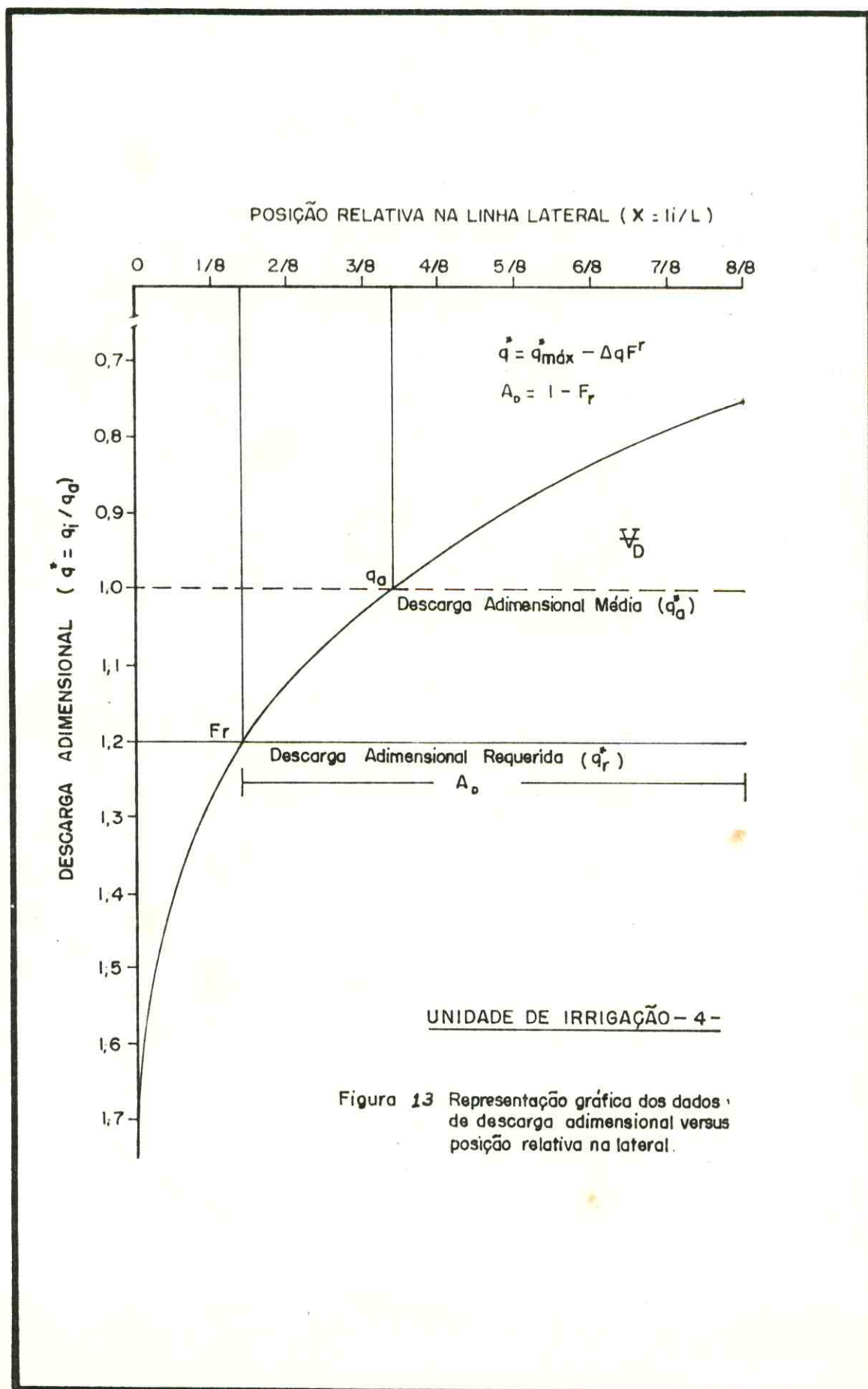


TABELA 10-A - Valores de descarga adimensional dos emissores e a posição relativa destes nas linhas laterais.

Lote	Unidade de rega	Linha nº	Descargas Adimensionais								Somas	Observações
			Posição relativa dos emissores na linha									
			1/8	2/8	3/8	4/8	5/8	6/8	7/8	8/8		
	01	1	1,411	1,344	0,963	0,840	0,957	0,773	0,742	0,843	7.873	A descarga adimensional foi obtida pela divisão das vazões individuais dos emissores pela média da unidade de rega.
		2	0,966	0,920	1,216	0,990	1,086	0,815	0,739	0,789	7.519	
		3	1,741	1,002	1,115	0,792	0,777	0,794	0,898	1,122	8.241	
		4	1,141	0,874	0,848	0,710	0,857	0,751	1,135	1,006	7.322	
		5	1,320	1,214	1,046	1,414	1,154	0,916	0,857	1,120	9.041	
										TOTAL = 39.996		
										MÉDIA = 1,000		
A	02	6	1,045	1,072	0,982	0,966	0,939	0,948	1,266	1,025	8.243	
		7	1,909	0,901	0,967	1,186	1,049	1,005	1,384	0,804	9.205	
		8	0,875	0,741	0,614	0,771	0,669	0,703	1,478	0,707	6.558	
		9	1,853	1,103	1,073	0,684	0,980	0,954	0,966	0,934	8.547	
		10	1,136	0,777	0,945	0,827	0,876	0,838	0,993	1,055	7.447	
										TOTAL = 40.000		
										MÉDIA = 1,000		

TABELA 10-B - Valores de descarga adimensional dos emissores e a posição relativa destes nas linhas laterais.

Lote	Unidade de rega	Linha nº	Descargas Adimensionais								Somas	Observações	
			Posição relativa dos emissores na linha										
			1/8	2/8	3/8	4/8	5/8	6/8	7/8	8/8			
		03	11	1,608	1,370	1,161	1,186	1,329	1,437	1,003	1,249	10.343	A descarga adimensional foi obtida pela divisão das vazões individuais dos emissores pela média da unidade de rega.
		12	1,196	1,304	1,010	1,225	1,610	1,057	1,059	1,018	9.479		
		13	1,804	0,970	0,810	0,865	0,855	0,747	0,744	0,704	7.504		
		14	0,759	0,575	0,631	1,467	1,463	0,610	0,551	1,030	7.086		
		15	0,813	1,032	0,779	0,770	0,631	0,655	0,673	1,217	6.570		
		16	0,967	0,839	1,455	1,141	0,677	0,646	0,653	0,637	7.015		
												TOTAL = 47.997	
													MÉDIA = 1,000
B			17	1,099	1,062	1,030	0,972	0,963	0,926	0,913	1,243	8.208	
			18	1,161	1,169	0,953	1,193	1,164	1,201	1,038	1,192	9.071	
		04	19	0,978	0,953	1,089	0,994	0,874	1,124	0,937	1,051	8.000	
			20	0,907	0,756	0,759	0,815	0,748	0,857	0,751	1,715	7.308	
			21	0,905	1,036	0,985	1,344	0,891	0,921	0,998	1,009	8.089	
			22	0,864	0,849	0,966	0,907	0,841	1,224	0,834	0,836	7.321	
													TOTAL = 47.997
													MÉDIA = 1,000

Para utilização nos cálculos da uniformidade e da eficiência, os parâmetros essenciais foram agrupados na TABELA 11.

Os resultados obtidos para a uniformidade de emissão (UE) são expostos na tabela 12. A uniformidade de emissão variou de 64,1% à 79,2% e a uniformidade do módulo foi de 72,1%. A unidade de rega 04 apresentou melhor uniformidade, enquanto que a unidade de rega 03 foi a que apresentou menor uniformidade de aplicação da água. Os resultados alcançados com o uso desta metodologia muito se assemelharam aos resultados obtidos com o uso da metodologia de KARMELI E KELLER (1975). Identicamente, os diagramas formados pelas descargas adimensionais versus frequência acumulada, nas quatro unidades de rega, muito se assemelharam ao gráfico de WALKER apresentado na FIGURA 07.

A semelhança dos resultados obtidos neste estudo de caso através do modelo matemático proposto por KARMELI et alii (1978) e pelo uso do universalmente conhecido método de KARMELI E KELLER (1975), ambos utilizados na avaliação da uniformidade de emissão, demonstra a validade do modelo matemático apresentado e que caracteriza a distribuição dos dados de vazão dos emissores, também para o sistema "xiquexique" de irrigação.

Confirma-se mais a baixa uniformidade do sistema testado pelos valores alcançados, inferiores a 90%, valor mundialmente reconhecido como aceitável para caracterizar uma irrigação localizada bem programada e de bom padrão de operação.

Nos gráficos das FIGURAS 10, 11, 12 e 13, a análise dos parâmetros, A_d , Δ e V_d determina uma visão da eficiência da irrigação, quando então são detectadas as áreas irrigadas convenientemente e com deficit hídrico. Esta análise será feita quando do estudo das eficiências, posteriormente.

TABELA 11 - Parâmetros utilizados nos cálculos da uniformidade e da eficiência, calculados com base no modelo de KARMELI et alii (1978).

Lote	Unidade de Rega	$\bar{q}_{\text{máx}}$	$\bar{q}_{\text{mín}}$	$\Delta\bar{q}$	"r"	\bar{q}_r
A	01	1,741	0,710	1,031	0,3914	1,1546
	02	1,909	0,614	1,295	0,4246	1,0641
B	03	1,809	0,551	1,258	0,5550	0,9184
	04	1,715	0,748	0,967	0,3524	0,1981

Observação: A vazão adimensional requerida (\bar{q}_r) foi obtida pela divisão da vazão média do emissor (dado de projeto) pela vazão média aplicada (dado de campo).

TABELA 12 - Resultados da avaliação da uniformidade de aplicação pelo modelo matemático proposto por KARMELI et alii (1978).

Unidade de Rega	Uniformidade de Emissão (UE) (%)
01	76,32
02	68,64
03	64,16
04	79,28
MODELO	72,10

4.2.3 - A uniformidade de aplicação calculada com base no coeficiente de variação de fabricação do emissor (CVF).

O coeficiente de variação de fabricação do emissor (CVF) é de evidente importância no estudo da avaliação de um sistema de irrigação localizada. Os resultados da uniformidade de emissão (UE) para as quatro unidades de rega, bem como para o módulo como um todo, com base no (CVF), são apresentados na TABELA 13.

TABELA 13 - Resultados da uniformidade de emissão (UE) para as quatro unidades de rega (1, 2, 3 e 4) e para o módulo, com base no coeficiente de variação de fabricação do emissor (CVF).

Unidade de Rega	Uniformidade de Emissão (UE) (%)
01	67,35
02	63,69
03	62,62
04	72,98
MÓDULO	66,66

Observação: As uniformidades foram calculadas para as condições mais adversas dentro de cada unidade de rega, isto é, para a lateral que apresentasse menor vazão de entrada.

Quando se observam os resultados da tabela acima pode-se constatar que os valores da uniformidade foram ainda mais baixos do que os anteriormente obtidos, exatamente porque foi o coeficiente de variação dos emissores o mais relevante fator de variação da uniformidade de aplicação da água de irrigação no sistema, em face dos entupimentos encontrados com frequência no campo e em face do processo artesanal e corriqueiro da desobstrução dos "furos" (emissores) na prática. Além do que, este parâmetro foi calculado para as con-

dições mais desfavoráveis dentro da unidade de irrigação, por obediência à metodologia descrita por KARMELI E KELLER (1975). Houve, todavia, boa semelhança entre os dados obtidos e os obtidos por outras metodologias, anteriormente descritos. A unidade de rega 04 continuou sendo a mais uniforme enquanto que a 03 foi a mais desuniforme.

Estes resultados confirmam as observações de SOLOMON e KELLER (1978), segundo as quais a variação dos valores do coeficiente de variação de fabricação do emissor (CVF) têm grande efeito nas diferenças de fluxo, maiores que os efeitos ocasionados pela variação de pressão dentro da rede de tubos.

4.2.4 - As eficiências de aplicação (planejada e para o sistema em operação)

No estudo da performance da irrigação, de modo geral, as eficiências associadas à uniformidade e às perdas por percolação profunda no solo, são a maneira mais conveniente de se avaliar um sistema. No presente estudo de caso, além da avaliação da eficiência geral proposta por MILLO e CUNHA (1982) (já descrita no item 4.2.1), foram calculadas as eficiências de aplicação planejada e para o sistema em operação com base na metodologia descrita por WALKER (1979), fundamentada na teoria de KARMELI E KELLER (1975), cujos resultados são apresentados na TABELA 14.

Os valores das eficiências são dados em porcentagem. Observe-se que para o presente estudo de caso, a uniformização do tempo de operação com irrigação, na prática, determinou um equilíbrio nos valores das eficiências, uma vez que os tempos de operação eram dois, sendo um de uma hora e cinquenta minutos para as unidades 01 e 02 e o outro de duas horas e meia para as unidades 03 e 04; na prática foi adotado um só tempo de operação de duas horas para cada unidade de rega. As relações entre o tempo de operação planejado e o de campo são expostos na tabela abaixo:

Unidade de Rega	T_r/T_a
01	0,9165
02	0,9165
03	1,2500
04	1,2500

TABELA 14 - Valores das eficiências planejada e para o sistema em operação segundo a metodologia descrita por WALKER (1979).

Eficiências	Unidades de Rega				Módulo
	01	02	03	04	
<u>Eficiência Aplicação</u>					
Planejada	98,60	90,79	82,94	97,72	92,51
Operacional	93,51	87,11	92,60	99,91	93,28
<u>Eficiência Armazenamento</u>					
Planejada	85,40	85,32	90,31	81,56	85,63
Operacional	80,99	81,86	100	83,39	86,56
<u>Percolação</u>	6,49	12,89	7,40	0,01	6,70

Os valores do tempo requerido e do tempo de aplicação foram dados em horas, T_r e T_a , respectivamente.

Considerando-se que a maioria dos autores afirmam que para campos instalados e em operação, a eficiência deverá se situar entre 85% e 95%, os resultados apresentados na TABELA 14 estariam dentro destas condições.

Pela observação dos gráficos 10, 11, 12 e 13 onde se pode detectar valores para a área deficientemente irrigada (A_D),

em função da lâmina adimensional requerida (\bar{q}_r) associada à frequência requerida (F_r) verifica-se que as lâminas requeridas para as quatro unidades de rega foram bastante altas, ocasionando em consequência altos valores de A_D .

No presente estudo de caso, embora os valores de A_D (área deficientemente irrigada) se mostrem elevados, podem ser considerados aceitáveis vez que as eficiências demonstraram que o sistema teve boa performance. WALKER (1979), por sua vez, recomenda que através de um manejo adequado da irrigação se possa incrementar o valor de Δ que representa a variação da lâmina média adimensional e a lâmina adimensional requerida e que determina o valor de A_D que poderá ser elevado até o limite de ser aceitável.

O índice de percolação profunda no solo no valor médio de 6,7% pode ser considerado muito alto quando se compara este resultado com resultados de ensaio experimental procedido por KARMELI, et alii (1978) para gotejamento clássico tendo obtido valores compreendidos entre 0,00 e 0,10.

4.3 - Análise comparativa dos resultados

Um quadro resumo dos resultados obtidos encontra-se na TABELA 15. Algumas informações técnicas adicionais referentes à unidade de rega e a linha lateral são também apresentados na referida tabela.

TABELA 15 - Resultados obtidos para os parâmetros de avaliação do sistema estudado: uniformidade de emissão, eficiência de aplicação e de armazenamento (planejada e para o sistema em operação), índice de percolação profunda.

Informações técnicas sobre a unidade de rega e a lateral					
Lâminas adimensionais requeridas					
Unidade de rega 01	-	1,1546			
Unidade de rega 02	-	1,0641			
Unidade de rega 03	-	0,9184	M Ó D U L O	-	1,08
Unidade de rega 04	-	1,1981			
Espaçamento médio entre emissores = 3,0 metros					
Comprimento da lateral = 48 metros					
Diâmetro da lateral = 1/2 polegada					
R E S U L T A D O S E M P O R C E N T A G E M (%)					
Discriminação	Unidades de Irrigação				Módulo
	01	02	03	04	
<u>Metodologia</u>					
<u>KARMELI E KELLER</u>					
Uniformidade de Emissão (UE)	76,80	73,00	63,70	81,50	73,75
Uniformidade de Emissão Absoluta (UEa)	73,00	68,17	63,12	78,60	70,87
Eficiência Geral (Eg)	69,12	65,70	57,33	73,35	66,37
<u>Modelo Matemático</u>					
<u>KARMELI et alii</u>					
Uniformidade de Emissão (UE)	76,32	68,64	64,16	79,28	72,10
Eficiência de Aplicação Planejada	98,60	90,79	82,94	97,72	92,51
Eficiência de Aplicação Operacional	93,51	87,11	92,60	99,91	93,28
Eficiência de Armazenamento Planejada	85,40	85,32	90,31	91,56	85,63
Eficiência de Armazenamento Operacional	80,99	81,86	100	83,39	86,56
Percolação profunda	6,49	12,89	7,40	0,01	6,70
<u>Método KARMELI E KELLER c/uso CVF</u>					
Uniformidade de Emissão (UE)	67,35	63,69	62,62	72,98	66,66

5 - CONCLUSÕES

5.1 - O padrão geral da eficiência de irrigação do sistema estudado se classifica como baixo, inaceitável para a irrigação localizada. Quando se considere a informação de MILLO E CUNHA (1982) que estipulam o valor de 70% como satisfatório para a "irrigação xiquexique", o sistema testado se classificaria como de razoável eficiência geral.

5.2 - A uniformidade de emissão (UE) manteve-se, nos três métodos de avaliação aplicados, com razoável uniformidade, vez que a variação, método a método, foi de apenas 10%, dando como média uma uniformidade de emissão para o módulo de 70%, considerada baixa, inaceitável para a irrigação localizada. A recomendação geral sobre a uniformidade de aplicação da água na irrigação localizada é a que esta se situe em torno de 90% para que o sistema seja considerado eficiente.

5.3 - As eficiências de aplicação (planejada e para o sistema em operação), calculadas pela metodologia descrita por WALKER (1979) e fundamentadas na equação potencial proposta por KARMELI et alii (1978) para caracterizar matematicamente a distribuição dos dados de campo, tiveram seus valores bastante majorados em virtude dos valores encontrados no campo para as vazões adimensionais (máxima e mínima) terem sido altos face os entupimentos constantes com métodos artesanais de desobstrução dos "furos" (emissores). Desta forma, as eficiências de aplicação (planejada e para o sistema em operação) se situaram acima de 90%, enquanto que, as de armazenamento ficaram em torno de 85%.

5.4 - A percolação profunda, para o módulo, situou-se por volta de 7,0%, considerada elevada quando se compara com resultados de ensaios realizados por KARMELI E KELLER (1975)

com valores não superior a 0,3%, para um comprimento da lateral de até 100 metros e 2,0 metros de espaçamento entre emissores.

5.5 - A total ausência de filtros, o manejo inadequado da irrigação praticado no campo por pessoas sem habilidade profissional para a prática da irrigação, a total inexistência de manômetros nas linhas laterais, nem mesmo em cada unidade de rega para que se pudesse avaliar a pressão hidrostática na tubulação, a falta de um controle efetivo e preciso da pressão de saída da bomba, são anotados como causas da baixa eficiência e uniformidade, inaceitáveis para a irrigação localizada.

5.6 - A falta de avaliação das respostas das culturas ao modelo de irrigação xique-xique, se deve ao fato de que as culturas perenes implantadas (laranja e graviola) não apresentaram produções nos 18 primeiros meses de vegetação. As culturas consorciadas, embora tendo apresentado vegetação conveniente, pouco produziram, não tendo havido interesse por parte do produtor em avaliar no primeiro ano de funcionamento do módulo tais produções. Pôde-se constatar no campo o desenvolvimento normal das culturas principais e das consorciadas sob regime de irrigação pelo sistema xique-xique, consolidando a validade deste modelo não convencional de irrigação para as condições econômicas, de solo e clima do interior cearense.

6 - RECOMENDAÇÕES

6.1 - A simplicidade de operação do sistema xiquexique, a simplicidade do cálculo hidráulico, a economia de água na irrigação, permitindo o uso de poços amazonas (cacimbões) sem maiores problemas, a reduzida utilização de mão-de-obra na irrigação, mesmo se considerando que todo o sistema xiquexique funciona manualmente, o reduzido número de acessórios utilizados neste sistema de irrigação, conduz a recomendação do mesmo como uma alternativa viável na irrigação no Nordeste brasileiro.

6.2 - Torna-se obrigatória a recomendação de filtros, o mais simples e menos caro possível, pois o entupimento constante e a maneira artesanal de desobstrução dos emissores são a grande causa da baixa eficiência e uniformidade do sistema. A perfuração da tubulação por ocasião da implantação de módulos de irrigação pelo sistema xiquexique carece de técnica mais requintada para que se possa obter uma seção de escoamento mais uniforme, um regime de fluxo mais homogêneo, melhor eficiência.

6.3 - É de conveniência o aprofundamento dos estudos sobre o "xiquexique", notadamente quanto à distribuição da água no solo e suas implicações hidráulicas, a adaptabilidade do sistema às principais culturas econômicas do Nordeste brasileiro e suas implicações agrônômicas, a determinação da área máxima admissível de ser irrigada pelo sistema xiquexique. Também devem ser desenvolvidos maiores estudos sobre os aspectos econômicos do mesmo.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABELAIRAS, J.L.P. and LAPAZARÁN, J.C.P. - II Curso Intensivo de Irrigação por Microaspersão. Núcleo do Projeto Sertanejo de Sobral-Ce. MINTER/DNOCS - Diretoria de Engenharia Rural, Convênio: DNOCS/IRYDA, ABID, 1983, p. 194.
- BOTREL, T.A. Hidráulica de microaspersores nacionais e linhas laterais para irrigação localizada. Piracicaba-SP, ESALQ, USP, 1984, p. 76 (Dissertação de Mestrado).
- HILLS, D.J., SILVEIRA, R.C.M. and WALLENDER, WES W. - Oscillating Pressure for improving Application Uniformity of Trickle Spray Emitters, ASAE, 1985, p. 22.
- KARMELI, D., SALAZAR, Le ROY, J. and WALKER, W.R. - Assessing the Spatial Variability of Irrigation Water Applications. Section 6. Spatial Distribution in Trickle Irrigation, 125-143, ADA, Oklahoma, USA, 1978.
- KARMELI, D. and KELLER, J. - Trickle Irrigation Design, 1st edition, Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, Glendora, California, USA, 1975, p. 133.
- KELLER, J. and RODIGO, J. - Trickle Irrigation Lateral Design, ASAE, Paper nº 79 - 2570, 1979, p. 25.

- MILLO, J.L., MOTA, C.A.A. e CUNHA, J.B. - Irrigação Localizada Sistema "xiquexique", p. 44 (Trabalho apresentado no VI Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, Belo Horizonte, MG, abril de 1982).
- MILLO, J.L. e CUNHA, J.B. - Manual do Sistema de Irrigação Xiquexique (Elaboração e Implantação de Projetos). MINTER, SUDENE, SEPLAN, CNPq. Outubro/1982, p. 144 (Versão Preliminar).
- NAKAYAMA, F.S., BUCKS, D.S., CLEMMENS, A.J., - Assessing Trickle Emitter Application Uniformity. ASAE, 1979, Paper n. 78 - 2017, 816-820.
- OLITTA, A.F.L. - Os Métodos de Irrigação. São Paulo, Nobel, 1986, p. 267.
- OLITTA, A.F.L. - Irrigação Localizada. Curso de Irrigação. BANESPA, Piracicaba-SP, 1986, p. 43.
- RODRIGO, J.L. - III Curso Internacional de Riego Localizado. Centro Regional de las Islas Canárias, Tenerife - INIA/ESPAÑA, 1983, vol. 5.
- SOARES, J.B. - Irrigação por Gotejamento, Considerações Básicas. MINTER, SUDENE, OEA, IICA, 1974, p. 16.
- SOCIÉTÉ d'EXPLOITATION des TECHNIQUES de l'Irrigation. Localized Watering by Means of Permanent Drilled Distributors - "BAS RHÔNE METHOD". Technical note, p. 14.
- SOLOMON, K. e KELLER, J. - Trickle Irrigation uniformity and Efficiency. Journal of the Irrigation and Drainage Division. American Society of Civil Engineers - ASCE, 1978, 293-306p.
- SOLOMON, K. - Manufacturing Variation of Trickle Emitters. Transactions of the ASAE, 1979, p. 1034-1043.
- VIEIRA DE AZEVEDO, C.A. - Processos Analíticos e Gráficos para Dimensionamento de Laterais e Terciárias no Sistema de Irrigação Localizada com Tubos Perfurados (Sistema Xiquexique). Campina Grande-PB, UFPb, 1984, p. 204. (Dissertação de Mestrado)
- VIEIRA, D.B. - Perspectiva do Sistema de Irrigação por Gotejamento em São Paulo (Anais do III Seminário Nacional de Irrigação e Drenagem, Fortaleza-CE, vol. III, 31-33p., nov./1975).

- WALKER, W.R. - Sprinkler e Trickle Irrigation. Department of Agricultural Engineering. Fourth edition, Colorado State University, 1979, p. 188.
- WU, I-Pai e GITLIN, H.M. - Design of Drip Irrigation Lines. Hawaii Agricultural Experiment Station, University of Hawaii, 1974 (Bull nº 96).
- WU, I-Pai e GITLIN, H.M. - Hydraulics and Uniformity for Drip Irrigation. Journal of the Irrigation and Drainage Division, 1973, p. 157-168.

ANEXO 01

PROJETO DE IRRIGAÇÃO XIQUEXIQUE

A N E X O 01

PROJETO DE IRRIGAÇÃO XIQUEXIQUE

PROJETO DE IRRIGAÇÃO

WANDERLEY CATUENA
MENDES

IDENTIFICAÇÃO			CAMPO I		
01	PROPRIETÁRIO: MANOEL HONORATO	05	MODELO (B ₁)		
02	PROPRIEDADE: "SÍTIO FERROS"	06	ÓRGÃO RESPONSÁVEL: SUEP-GAT/POCT(AN)		
03	MUNICÍPIO: ITAPAJÉ/CE	07	PROJETISTA: (S) CARLOS HENRIQUE XIMENES		
04	ESTADO: CE	08	DATA: Set/84		

DADOS BÁSICOS						CAMPO II		
ÁGUA								
09	Volume anual disponível	m ³		<input type="checkbox"/> Rio perene	Nome			
10	Vazão crítica (poço)	m ³ /H	5,0	<input type="checkbox"/> Açude	Capacidade Profundidade Nível dinâmico	m ³	16,2	
11	Qualidade da água *	-	C ₃ S ₂	<input checked="" type="checkbox"/> Poço Amazona		m		6,6
12	Coefficiente de lixiviação	-	1,3	<input type="checkbox"/> Poço tubular		m		0,6
				<input type="checkbox"/> Outra fonte	Nome		m	6,0
SOLO								
13	Capacidade de campo	%	14,0	<input type="checkbox"/> Solo arenoso	<input type="checkbox"/> Barro arenoso			
14	Ponto de murcha	%	6,0	<input type="checkbox"/> Barro	<input checked="" type="checkbox"/> Outro: FRANCO ARENOSO			
15	Densidade aparente	-	1,5	Profundidade média do solo		m	2,0	
16	Infiltração			Teste de infiltração: 25 l/r.m (Salco) **				
CLIMA								
17	Evapotranspiração Potencial crítica	mm/dia	6,5	Mês de maior demanda: OUTUBRO				
18	Precipitação média anual	mm	775	Fonte dos dados: (HARGREAVES)				
TOPOGRAFIA								
19	Desnível da área irrigada	m	2,5	<input type="checkbox"/> Planta topográfica: escala 1/200				
20	Declive da área irrigada	%	2,7	<input type="checkbox"/> Croqui da área: (mapa anexo)				
21	Altura geométrica total	m	14,0	ÁREA IRRIGÁVEL = 10.600 m ²				
SISTEMA DE IRRIGAÇÃO								
22	Eficiência geral	-	70%	energia:	<input type="checkbox"/> diesel	<input type="checkbox"/> elétrico	<input checked="" type="checkbox"/>	
23	Tempo mínimo de operação	H/dia	12	pressão de serviço	<input type="checkbox"/> baixa	<input checked="" type="checkbox"/> média	<input type="checkbox"/> alta	
24	Vazão de cálculo do projeto ***	l/H	4,0	(NA BOMBA)				

* Perigo de salinidade ** Vazão mínima *** 30% da vazão crítica do poço

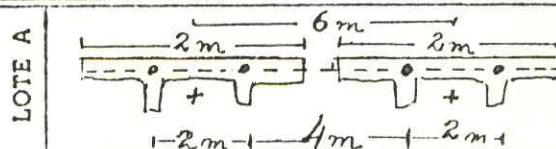
CULTURAS PRINCIPAIS

74

		Unid.	LOTE A	LOTE B	LOTE C
25	Nome da cultura principal	-	LARANJA	GRAVATOIA	-
26	Variedade	-			
27	Espaçamento entre fila	m	8,0	8,0	
28	Espaçamento na fila	m	6,0	6,0	
29	População por hectare	pés	208	208	
			$\frac{10000}{(27) \times (28)}$		
30	Coefficiente de cultivo (K_c)	-	0,75	0,80	
31	Coefficiente de cobertura	-	0,35	0,40	
32	Profundidade do sistema radicular	mm	800	800	
33	Repartição das culturas:				
	principal	%	45	55	
	consorciadas: Tipo n.º 1	-	FEIJÃO	FEIJÃO	
	Tipo n.º 2	-	TOMATE	PIMENTÃO	
	Tipo n.º 3	-	MELÃO	TOMATE	

REPARTIÇÃO DA ÁGUA ÀS PLANTAS

44 Esquema da disposição irrigador/cultura



LEGENDA

- - - - - linha de distribuição
- o — irrigador
- + — pé da cultura principal
- sulco de repartição
- ← — distância em metros

LOTE B
(IDEM) { e = espaçamento de emissor
 $e = 2m + 4m = 6m$
módulo = 3m

LOTE C
 -

volte aos itens 36 a 43

		Unid.	LOTE A	LOTE B	LOTE C
45	Número de irrigadores por pé de cultura principal	-	2	2	
46	Comprimento do sulco de repartição d'água (mínimo)	m	2,0	2,0	✓
47	Velocidade mínima do irrigador ($TAXA \text{ INFILTRAÇÃO} \times 2 \text{ EMISORES/pé}$)	VH	50	50	

DOSE MÁXIMA DE ÁGUA POR DIA

		Unid.	LOTE A	LOTE B	
48	Evapotranspiração real	mm	4,9	5,2	
49	Volum ^e líquido por hectare	l/ha	17.150	20.800	
50	Volume bruto por pé	l	118	143	✓
51	Volume por irrigador	l	59	71,5	
52	Dose máxima ajustada	l	89	108	

IRRIGADOR					
53	Pressão da linha (H_0) →	mca	(12)	(10)	
54	Diâmetro do furo do irrigador	mm	1,6	1,6	✓
55	Vazão do irrigador (média) → (q_r) (Lâmina reversível)	Vh	(49)	(45)	

LINHA DE DISTRIBUIÇÃO					LARANJEIRA GRANJEIRA				
					Unid.	Lote A	Lote B	Lote C	
56	Diâmetro interior do tubo				mca	16	16	→ (1/2")	
57	Espacamento entre irrigadores				m	3,0	3,0		
58	Comprimento máximo da linha				m	45 a 56	45 a 56		✓
59	Comprimento lateral irrigável (real)				m	48	48		
60	Número de irrigadores da linha - ajustado - $(59) ÷ (57)$				-	16	16		
61	Vazão da linha $(60) × (55)$				Vh	(784)	(720)		
UNIDADE DE REGA									
62	Espacamento entre linhas (27)				m	8,0	8,0		
63	Número teórico de irrigadores $(24) ÷ (55)$				-	82	89		
64	Número de linhas - ajustado $(63) ÷ (60)$				-	(5)	(6)		
65	Número de irrigadores - ajustado $(64) × (50)$				-	(80)	(96)		✓
66	Vazão da unidade $(65) × (55)$				Vh	3.920	4.320		
67	Tempo de rega da unidade $(52) ÷ (55)$				H:mn	1:50	2:30		
68	Área líquida da unidade $(64) × (57) × (62) × (60)$				m ²	1.920	2.304		
ÁREA IRRIGADA POR LOTE									
69	Número de unidade de rega por lote				Unid.	2	2		
70	Tempo de rega por lote $(69) × (67)$				H:mn	3:40	5:00		✓
71	Área líquida irrigada por lote $(69) × (68)$				m ²	3.840	4.608		
ÁREA IRRIGADA TOTAL									
72	Tempo de rega máximo por dia				H:mn	Σ (70) (Lote "A" + Lote "B")		(8:40)	
73	Área líquida irrigada total				m ²	Σ (71) (Lote "A" + Lote "B")		8.448	
74	Área bruta total				m ²	- ver croqui -			
(MAPA em ANEXO)									

TUBULAÇÃO PRINCIPAL

75	Varição de pressão admissível (ΔP)	0,20x(53)	mca	(A) 2,4 (B) 2,0
76	Perda de carga admissível:	(75) ⁺ -(19) { DESNÍVEL OBTIDO NO TRECHO MAIS DESFAVORÁVEL (78)	m	(1,4) (2,4)
77	Comprimento da tubulação principal:	croqui ou planta	m	24 40
78	Comprimento do trecho mais desfavorável:	croqui ou planta (OBTIDA NO CAMPO)	m	16 20
79	Vazão do projeto	(66) (MAIOR VALOR)	VH	4.320

80	OPÇÃO 1	Material	PVC-MP	Perda linear unitária	m/100m	1,97
		Diâmetro	50 mm	Perda linear $\frac{(78) \times (80)}{100}$	m	(0,31) (0,39)

82	OPÇÃO 2	Material	POLIETILENO	Perda linear unitária	m/100m	2,58
		Diâmetro	1 1/2"	Perda linear $\frac{(78) \times (82)}{100}$	m	(0,41) (0,52)

84	Opção escolhida	Nº 02	Perda de carga correspondente PARA 64m - PRINCIPAL -	m	1,65
----	-----------------	-------	--	---	------

TUBULAÇÃO DE DERIVAÇÃO

85	Opção escolhida	Nº 01	* Vazão de cálculo	VH	4.320
86	Velocidade escolhida			m/s	(0,95)
87	Material	POLI-IR/MP	Diâmetro	pol ou mm	1 1/2"

TUBULAÇÃO ADUTORA

88	Comprimento da tubulação adutora	Obs: VAZÃO DE PROJETO = 4.320 L/H	m	150	
89	Velocidade escolhida		m/s	(1,3)	
90	Material	POLI-IR/MP	Diâmetro	pol	1 1/4"
91	Perda linear unitária		m/100m	(5,99)	
92	Perda linear (ADUTORA)	$\frac{(88) \times (91)}{100}$	m	(8,98)	

CONJUNTO MOTO BOMBA

93	Altura manométrica da bomba	m	38,09	Pressão de serviço (53)	mca	10,0
94	Vazão da bomba $\frac{1}{1000} \times (66)$	m ³ /h	4,5	Altura geométrica (21)	m	14,0
95	Rotação da bomba	RPM	3.500	Perda na principal (84)	m	1,65
96	Rendimento da bomba	%	(55)	Perda na adutora (92)	m	8,98
97	Potência da bomba: $\frac{(94) \times (93)}{2,7 \times (96)}$	CV	(1,15)	Sub. Total	m	34,63
98	Energia do motor	-	ELETRICA	Perdas derivação e localizadas (5%)	m	3,46
99	Potência do motor: 1,1 ou 1,2x(97)	CV	(1,26)	Total (AM T)	m	(38,09)

ANEXO 02

DADOS DE CAMPO RELATIVOS À VAZÃO E PRESSÃO DE SERVIÇO NAS LINHAS LATERAIS E EMISSORES, PARA AS QUATRO UNIDADES DE REGA DO "MÓDULO XIQUEXIQUE".

TABELA 16 - Dados de campo relativos à vazão nos emissores e pressão de serviço nas linhas laterais das unidades de rega 01 e 02, lote "A".

Dados de Campo																					
Lote	Unidade de rega	Linha nº	Vazão (\bar{q}) - ml/min														Pressão (mca)				
			Posição relativa dos emissores na linha														Somas	En- tra- da	Saí- da		
			1/8	2/8	3/8	4/8	5/8	6/8	7/8	8/8											
01		1	1.280	716	1.386	516	750	613	756	433	797	557	453	640	543	507	540	653	11.140	4,65	3,41
		2	638	737	812	490	917	803	697	703	640	897	590	563	603	443	463	650	10.638	5,51	3,27
		3	1.750	713	633	785	800	777	520	600	513	587	593	530	683	587	860	717	11.658	4,99	3,27
		4	887	727	670	567	553	647	477	527	543	670	560	503	643	693	813	610	10.360	4,99	3,10
		5	860	1.007	880	387	687	793	1.357	643	760	873	593	703	653	560	847	737	12.790	5,34	3,10
																	TOTAL =	56.586			
																	MEDIA =	707,325			
A		6	787	817	693	653	850	657	660	823	680	762	750	705	1.060	883	690	-	11.770	4,99	3,10
		7	2.223	707	793	590	817	667	1.233	587	823	787	860	683	1.097	1.029	587	647	14.129	3,96	2,41
		8	663	680	517	620	442	500	493	690	450	577	537	542	608	1.660	558	527	10.065	4,65	2,58
		9	1.967	877	863	830	920	727	477	573	857	647	917	547	703	780	687	747	13.119	4,82	3,61
		10	847	897	670	523	677	773	683	587	627	717	727	560	777	747	853	767	11.432	5,16	2,93
																	TOTAL =	60.515			
																	MEDIA =	756,437			

Observações:- Dois emissores por planta.
 - Emissores espaçados de 3m nas linhas laterais.
 - Cultura de laranja.

TABELA 17 - Dados de campo relativos à vazão nos emissores e pressão de serviço nas linhas laterais das unidades de rega 03 e 04, lote "B".

D a d o s d e C a m p o																					
Lote	Unidade de rega	Linha nº	Vazão (\bar{q}) - ml/min														Somas		Pressão (mca)		
			Posição relativa dos emissores na linha														En- tra- da	Saí- da			
			1/8	2/8	3/8	4/8	5/8	6/8	7/8	8/8											
03		11	1.620	1.007	1.140	1.097	1.023	873	1.067	870	987	1.183	1.140	1.207	645	993	1.080	960	16.892	10,50	9,64
		12	1.020	933	1.027	1.103	840	810	693	1.308	1.067	1.563	883	843	1.137	593	793	870	15.483	6,71	4,99
		13	2.027	927	927	657	690	633	720	693	613	787	647	573	613	603	563	587	12.260	7,75	6,71
		14	847	393	453	487	547	483	673	1.723	1.583	807	433	563	443	457	1.120	563	11.575	4,30	1,89
		15	660	668	933	753	580	693	770	487	460	570	587	483	560	540	807	1.180	10.731	6,20	4,65
		16	797	783	680	690	660	1.717	653	1.210	523	583	573	483	567	500	567	473	11.459	6,02	3,61
																		TOTAL =	78.400		
																		MÉDIA =	816,666		
B		17	663	713	630	700	717	573	550	667	653	553	560	600	610	533	783	773	10.278	6,02	4,65
		18	617	837	823	640	660	533	767	727	730	727	687	817	557	743	780	713	11.358	7,75	6,54
		19	617	607	693	500	700	663	697	547	587	507	777	630	603	570	633	683	10.014	6,37	5,16
		20	553	583	427	520	463	487	557	463	483	453	533	540	477	463	487	1.660	9.149	5,16	3,17
		21	540	593	687	610	680	553	1.053	630	613	503	653	500	720	530	710	553	10.128	6,97	5,68
		22	550	532	510	553	610	600	543	593	420	633	713	820	507	537	450	597	9.168	7,74	5,94
																		TOTAL =	60.093		
																		MÉDIA =	625.968		

Observação: Cultura da graviola.

TABELA 18 - Dados de campo relativos à pressão de serviço nos emissores das unidades de rega 01 e 02, lote "A".

Lote	Unidade de rega	Linha nº	D a d o s C o l e t a d o s															Somas	Obser- vações		
			Pressão de serviço (mca)																		
			Posição relativa dos emissores na linha																		
			1/8	2/8	3/8	4/8	5/8	6/8	7/8	8/8											
01		1	6,20	4,50	5,68	3,82	4,13	4,34	4,34	4,13	3,82	3,62	3,82	3,82	6,23	3,31	3,40	4,34	65,96	Utilizou-se a média de três leituras por emissor.	
		2	5,48	5,48	5,10	4,34	4,54	4,13	3,62	3,82	3,82	4,13	3,62	3,62	3,62	3,62	3,27	3,62	65,69		
		3	6,20	4,30	3,79	3,79	3,79	3,27	3,27	3,44	3,79	3,79	3,79	3,62	3,44	3,79	3,70	3,79	61,65		
		4	4,65	4,30	2,96	3,79	3,79	3,96	3,79	3,44	3,62	3,44	3,10	3,44	3,62	3,79	3,62	3,62	59,93		
		5	6,70	6,02	5,58	5,16	5,50	5,34	6,02	5,00	4,65	4,30	3,96	4,13	3,30	4,13	4,30	3,96	78,82		
																	TOTAL =	332,05			
																	MÉDIA =	4,151			
A		6	4,48	4,48	3,79	4,13	3,61	3,27	3,10	3,10	3,10	3,44	3,44	3,27	3,44	3,27	3,61	-	53,53		
		7	6,02	3,04	4,48	4,13	4,30	4,30	3,96	3,10	3,27	2,93	3,27	3,10	3,27	3,10	2,93	2,75	59,21		
		02	8	3,44	4,30	2,75	3,10	2,75	2,75	2,75	2,93	2,75	2,93	2,58	2,58	2,41	3,44	3,44	2,24	44,91	
		9	6,89	3,96	3,96	3,79	3,79	3,62	3,27	3,10	2,93	2,93	3,27	2,93	3,10	2,93	2,93	3,10	56,50		
		10	4,82	4,82	3,96	3,96	3,44	3,62	3,62	3,44	3,62	3,44	3,27	3,27	3,10	3,27	3,44	3,44	58,53		
																	TOTAL =	272,68			
																	MÉDIA =	3,452			

TABELA 19 - Dados de campo relativos à pressão de serviço nos emissores das unidades de rega 03 e 04, lote "B".

Lote	Unidade de rega	Linha nº	D a d o s C o l e t a d o s															Somas	
			Pressão de serviço (mca)																
			Posição relativa dos emissores na linha																
			1/8	2/8	3/8	4/8	5/8	6/8	7/8	8/8									
03	11	12,74	12,40	12,40	12,05	10,67	9,99	10,67	10,33	10,33	10,67	9,99	9,99	8,95	8,95	8,44	8,44	167,01	
	12	8,36	7,92	6,71	7,58	6,89	6,20	7,23	6,54	5,16	5,85	4,84	3,96	4,30	3,96	3,62	3,99	92,79	
	13	10,33	8,10	7,40	7,40	6,37	5,16	5,51	5,16	4,82	4,82	4,48	4,13	4,13	4,13	5,34	4,48	96,76	
	14	9,64	2,75	2,58	2,58	2,58	2,41	2,41	2,58	2,24	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	43,00	
	15	5,85	5,34	5,68	5,16	5,68	2,48	4,48	3,96	3,96	3,79	3,79	3,62	3,62	3,79	3,79	4,30	71,29	
	16	5,34	5,34	4,82	4,82	4,13	3,44	3,44	2,75	2,41	2,41	2,24	2,24	2,24	2,24	2,41	2,24	72,51	
																	TOTAL =	523,36	
																	MÉDIA =	5,452	
B	04	17	6,54	6,54	6,37	6,37	6,20	5,34	4,82	4,82	4,13	3,79	3,79	3,62	3,62	3,44	4,48	3,79	77,66
		18	6,03	6,03	5,34	5,34	5,16	4,48	4,30	5,16	4,82	6,16	4,13	4,48	4,82	5,16	5,16	5,51	81,08
		19	6,37	6,03	5,85	5,51	8,58	5,34	5,34	4,82	5,51	5,51	5,85	5,85	5,00	4,65	5,00	5,00	87,48
		20	3,79	3,79	3,44	3,10	2,75	3,10	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,58	3,44	47,99
		21	6,54	6,54	5,85	5,34	6,20	5,68	5,51	5,51	5,51	4,65	4,48	4,48	4,48	4,48	5,16	4,48	86,26
		22	5,16	5,16	4,82	4,50	4,48	4,82	4,48	4,82	4,13	4,64	4,48	4,82	4,48	4,82	4,48	4,82	74,92
																	TOTAL =	455,39	
																	MÉDIA =	4,744	

Observações: Utilizou-se a média de três leituras por emissor.

ANEXO 03

FREQÜÊNCIA ACUMULADA (F) E DESCARGA ADIMENSIONAL (\bar{q}) DOS
EMISSORES NAS QUATRO UNIDADES DE REGA DO "MÓDULO XIQUEXIQUE"

TABELA 20-A - Frequência acumulada (F) e descarga adimensional (\bar{q}) dos emissores na unidade de rega 01, lote "A".

Emissor nº	\bar{q}	F
01	1,741	0,0000
02	1,414	0,0532
03	1,411	0,0544
04	1,344	0,0873
05	1,320	0,1014
06	1,216	0,1783
07	1,214	0,1800
08	1,154	0,2371
09	1,141	0,2508
10	1,135	0,2572
11	1,122	0,2716
12	1,120	0,2738
13	1,115	0,2795
14	1,086	0,3138
15	1,046	0,3661
16	1,006	0,4212
17	1,002	0,4271
18	0,990	0,4450
19	0,966	0,4823
20	0,963	0,4871
21	0,957	0,4967
22	0,920	0,5588
23	0,916	0,5658
24	0,898	0,5979
25	0,875	0,6423
26	0,857	0,6750
27	0,857	0,6750
28	0,848	0,6927
29	0,843	0,7027
30	0,840	0,7087
31	0,815	0,7600
32	0,794	0,8048
33	0,792	0,8092
34	0,787	0,8201
35	0,777	0,8423
36	0,773	0,8512
37	0,751	0,9015
38	0,742	0,9226
39	0,739	0,9296
40	0,710	1,0000

TABELA 20-B - Freqüência acumulada (F) e descarga adimensional (\bar{q}) dos emissores na unidade de rega 02, lote "A".

Emissor nº	\bar{q}	F
01	1,909	0,0000
02	1,853	0,0006
03	1,478	0,0750
04	1,384	0,1193
05	1,266	0,1923
06	1,186	0,2534
07	1,136	0,2967
08	1,103	0,3294
09	1,073	0,3568
10	1,072	0,3578
11	1,049	0,3814
12	1,049	0,3814
13	1,045	0,3856
14	1,025	0,4069
15	1,005	0,4289
16	0,993	0,4425
17	0,982	0,4551
18	0,980	0,4574
19	0,967	0,4726
20	0,966	0,4738
21	0,966	0,4738
22	0,954	0,4881
23	0,984	0,4954
24	0,945	0,4990
25	0,939	0,5064
26	0,934	0,5125
27	0,901	0,5543
28	0,876	0,5872
29	0,875	0,5886
30	0,838	0,6394
31	0,827	0,6550
32	0,804	0,6882
33	0,777	0,7285
34	0,771	0,7376
35	0,741	0,7842
36	0,707	0,8390
37	0,703	0,8456
38	0,684	0,8773
39	0,669	0,9028
40	0,614	0,0000

TABELA 20-C - Freqüência acumulada (F) e descarga adimensional (\bar{q}) dos emissores na unidade de rega 03, lote "B".

Emissor nº	\bar{q}	F
01	1,809	0,0000
02	1,610	0,0361
03	1,608	0,0367
04	1,467	0,0957
05	1,463	0,0977
06	1,455	0,1018
07	1,437	0,1113
08	1,370	0,1500
09	1,329	0,1792
10	1,304	0,1931
11	1,249	0,2326
12	1,225	0,2509
13	1,217	0,2571
14	1,196	0,2738
15	1,186	0,2819
16	1,161	0,3026
17	1,141	0,3196
18	1,059	0,3938
19	1,057	0,3957
20	1,032	0,4197
21	1,030	0,4217
22	1,018	0,4334
23	1,010	0,4414
24	1,003	0,4484
25	0,970	0,4820
26	0,967	0,4851
27	0,865	0,5961
28	0,855	0,6075
29	0,839	0,6260
30	0,813	0,6565
31	0,810	0,6601
32	0,779	0,6975
33	0,770	0,7085
34	0,759	0,7221
35	0,747	0,7370
36	0,744	0,7407
37	0,704	0,7916
38	0,677	0,8268
39	0,673	0,8321
40	0,655	0,8560
41	0,653	0,8587
42	0,646	0,8681
43	0,637	0,8802
44	0,631	0,8884
45	0,631	0,8884
46	0,610	0,9171
47	0,575	0,9659
48	0,551	0,0000

TABELA 20-D - Frequência acumulada (F) e descarga adimensional (\bar{q}) dos emissores na unidade de rega 04, lota "B".

Emissor nº	\bar{q}	F
01	1,715	0,0000
02	1,344	0,0660
03	1,243	0,1306
04	1,224	0,1461
05	1,201	0,1664
06	1,193	0,1739
07	1,192	0,1748
08	1,169	0,1975
09	1,164	0,2027
10	1,161	0,2058
11	1,124	0,2473
12	1,099	0,2781
13	1,089	0,2911
14	1,062	0,3282
15	1,051	0,3441
16	1,038	0,3636
17	1,036	0,3666
18	1,030	0,3759
19	1,009	0,4096
20	0,998	0,4279
21	0,985	0,4503
22	0,978	0,4627
23	0,978	0,4627
24	0,972	0,4734
25	0,966	0,4844
26	0,963	0,4899
27	0,953	0,5086
28	0,953	0,5086
29	0,937	0,5395
30	0,926	0,5614
31	0,921	0,5716
32	0,913	0,5881
33	0,907	0,6006
34	0,907	0,6006
35	0,905	0,6049
36	0,891	0,6350
37	0,874	0,6729
38	0,864	0,6958
39	0,857	0,7122
40	0,849	0,7312
41	0,841	0,7506
42	0,836	0,7628
43	0,834	0,7677
44	0,815	0,8157
45	0,759	0,9681
46	0,759	0,8767
47	0,751	0,9912
48	0,748	1,0000

OBSERVAÇÃO:

$$\bar{q} = q_i / q_a$$

sendo: q_i = vazão do emissor (ml/min)

q_a = vazão média do emissor (ml/min)

\bar{q} = vazão adimensional do emissor

$$F = \left[\frac{\bar{q} - \bar{q}_{\max}}{\bar{q}_{\max} + \bar{q}_{\min}} \right]^{\frac{1}{r}} \quad r = \frac{\Delta \bar{q}}{\bar{q}_{\max} - 1} - 1$$

sendo: F = frequência acumulada

\bar{q}_{\max} = vazão adimensional máxima (emissor)

\bar{q}_{\min} = vazão adimensional mínima (emissor)

r = coeficiente característico da curva ajustada

$$\Delta \bar{q} = \bar{q}_{\max} - \bar{q}_{\min}$$