

[REDACTED]

ESTUDO COMPARATIVO DE DOIS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPER-  
SÃO A PARTIR DE AVALIAÇÕES TÉCNICA E ECONÔMICA

*Irrigação por Aspersão  
Análise econômica*

[REDACTED]

---

JOSÉ AUGUSTO TOSTES GUERRA

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DO CURSO  
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM COMO  
REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

[REDACTED]

FORTALEZA-1988

[REDACTED]

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

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

---

José Augusto Tostes Guerra

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 16/12/88

---

Prof. Francisco de Souza, Ph.D.  
Orientador da Dissertação

---

Prof. Moisés Custódio S. Leão, Ph.D.  
Conselheiro

---

Prof. José Osório Costa, M.S.  
Conselheiro

## SUMÁRIO

	Página
<u>LISTA DE TABELAS</u> .....	vi
<u>LISTA DE TABELAS EM ANEXO</u> .....	viii
<u>LISTA DE FIGURAS</u> .....	ix
<u>LISTA DE FIGURAS EM ANEXO</u> .....	xi
<u>RESUMO</u> .....	xv
<u>ABSTRACT</u> .....	xix
1 - <u>INTRODUÇÃO</u> .....	1
2 - <u>REVISÃO DE LITERATURA</u> .....	4
2.1 - <u>Avaliação técnica de um sistema de irrigação por aspersão</u> .....	4
2.2 - <u>Fatores que influenciam a qualidade técnica da irrigação por aspersão</u> .....	8
2.3 - <u>Aspectos técnicos e econômicos na análise da irrigação por aspersão</u> .....	13
3 - <u>MATERIAIS E MÉTODOS</u> .....	19
3.1 - <u>Caracterização da área do experimento</u> .....	19
3.1.1 - <u>Localização</u> .....	19
3.1.2 - <u>Clima</u> .....	19
3.1.3 - <u>Relevo</u> .....	20
3.1.4 - <u>Solos</u> .....	20
3.2 - <u>Procedimento de campo</u> .....	22
3.3 - <u>Determinação dos parâmetros de qualidade da irrigação - avaliação técnica</u> .....	33

	Página
3.4 - <u>Avaliação econômica</u> .....	41
4 - <u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u> .....	44
4.1 - <u>Avaliação técnica</u> .....	44
4.1.1 - Parâmetros de avaliação da performance dos sistemas de irrigação .....	44
4.1.2 - Efeito dos fatores climáticos sobre os pa- râmetros de qualidade da irrigação .....	47
4.1.3 - Efeito dos fatores não climáticos sobre os parâmetros de qualidade da irrigação .....	40
4.1.4 - Comportamento dos parâmetros de qualidade da irrigação relacionados à mudança de lâ- mina requerida .....	55
4.2 - <u>Avaliação econômica</u> .....	56
4.2.1 - Estrutura dos custos e receitas .....	56
4.2.2 - Resultados econômicos .....	64
4.3 - <u>Análise comparativa dos dois sistemas</u> .....	66
5 - <u>CONCLUSÕES</u> .....	73
6 - <u>RECOMENDAÇÕES</u> .....	76
7 - <u>LITERATURA CITADA</u> .....	78
<u>ANEXO 1 - PROJETO DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO DAS</u> <u>ÁREAS CA<sub>2</sub> (MANEJO CONVENCIONAL) E AA<sub>2</sub></u> <u>(MANEJO TECNIFICADO)</u> .....	82
<u>ANEXO 2 - DADOS DE CAMPO DOS DOIS SISTEMAS E RESUL</u> <u>TADOS DA AVALIAÇÃO PELO MODELO LINEAR ..</u>	92
<u>ANEXO 3 - RELAÇÃO ENTRE ÁREA DEFICIENTEMENTE IRRI-</u> <u>GADA, VOLUME DE ÁGUA DEFICIENTE, VOLUME</u>	

DE EXCESSO, EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO E DE  
ARMAZENAMENTO; PARA DIFERENTES VALORES  
DA LÂMINA D'ÁGUA REQUERIDA, E COEFICIEN-  
TES DE UNIFORMIDADE, COM O AJUSTE LINEAR  
DAS PRECIPITAÇÕES OBTIDAS NOS 7 TESTES  
REALIZADOS NOS DOIS SISTEMAS .....

## LISTA DE TABELAS

TABELA		Página
1	Dados obtidos na Estação Agrometeorológica da Fazenda Experimental do Vale do Curu (Pentecoste-Ce) no ano de 1987 .....	21
2	Características físicas dos solos .....	23
3	Planejamento das irrigações para a área de manejo tecnificado (área AA <sub>2</sub> ) .....	27
4	Planejamento das irrigações para a área de manejo convencional (área CA <sub>2</sub> ), considerando-se uma profundidade efetiva do sistema radicular de 60 cm .....	28
5	Parâmetros de avaliação da performance dos sistemas de irrigação - ramal móvel; aspersores ZE-30 (bocal 6,0 mm, pressão de serviço 2,5 atm, vazão 0,60 l/seg, espaçamento 18 x 18 m) .....	45
6	Tempo de rotação e velocidade de rotação dos aspersores (ZE-30) .....	51
7	Quantificação, vida útil e custo do equipamento de irrigação (área de 0,388 ha) .....	58
8	Despesa (custos diretos de produção) do experimento da área AA <sub>2</sub> (M. tecnificado) - 0,388 ha ..	60

## TABELA

## Página

9	Despesa (custos diretos de produção) do experimento da área CA <sub>2</sub> (M. convencional) - 0,388 ha .	61
10	Estrutura dos custos e receitas para uma safra de feijão com irrigação .....	63
11	Indicadores econômicos para uma safra de feijão com irrigação .....	65

LISTA DE TABELAS EM ANEXO

TABELA		Página
12	Dados de campo e resultados da avaliação pe- lo modelo linear, teste nº 1, área CA <sub>2</sub> .....	93
13	Dados de campo e resultados da avaliação pe- lo modelo linear, teste nº 2, área CA <sub>2</sub> .....	95
14	Dados de campo e resultados da avaliação pe- lo modelo linear, teste nº 3, área CA <sub>2</sub> .....	97
15	Dados de campo e resultados da avaliação pe- lo modelo linear, teste nº 1, área AA <sub>2</sub> .....	99
16	Dados de campo e resultados da avaliação pe- lo modelo linear, teste nº 2, área AA <sub>2</sub> .....	101
17	Dados de campo e resultados da avaliação pe- lo modelo linear, teste nº 3, área AA <sub>2</sub> .....	103
18	Dados de campo e resultados da avaliação pe- lo modelo linear, teste nº 4, área AA <sub>2</sub> .....	105

LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>		<u>Página</u>
1	Curva de uso consuntivo acumulado da cultura do feijoeiro ( <u>Vigna unguiculata</u> (L) Walp) ..	25
2	Planta esquemática de localização dos aspersores de testes (área AA <sub>2</sub> ) .....	29
3	Planta esquemática de localização dos aspersores de testes (área CA <sub>2</sub> ) .....	30
4	Planta esquemática da malha de pluviômetro na área de teste .....	32
5	Diagrama esquemático do modelo linear - Distribuição adimensional acumulada (após NOGUEIRA, 1987) .....	36
6	Diagrama esquemático do modelo linear para o caso 1 ( $Y_r > Y_{max}$ ) .....	36
7	Diagrama esquemático do modelo linear para o caso 2 ( $1 < Y_r < Y_{max}$ ) .....	38
8	Diagrama esquemático do modelo linear para o caso 3 ( $Y_r = 1,0$ ) .....	38
9	Diagrama esquemático do modelo linear para o caso 4 ( $Y_{min} \leq Y_r < 1,0$ ) .....	40
10	Diagrama esquemático do modelo linear para	

FIGURA		Página
	o caso 5 ( $Y_r < Y_{min}$ ) .....	40
11	Influência da velocidade do vento nos valores do coeficiente de uniformidade (CUC) para os dois sistemas de irrigação .....	48
12	Relação entre o coeficiente de uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) e o coeficiente de variação (CV) para os dois tipos de manejo dos sistemas de irrigação por aspersão .....	54

LISTA DE FIGURAS EM ANEXO

FIGURA		Página
13	Planta esquemática da área CA <sub>2</sub> .....	86
14	Planta esquemática da área AA <sub>2</sub> .....	91
15	Relação entre Y <sub>r</sub> (lâmina adimensional requerida), A <sub>D</sub> , V <sub>D</sub> , V <sub>e</sub> , E <sub>a</sub> e E <sub>s</sub> , teste nº 1, área CA <sub>2</sub> .....	108
16	Relação entre Y <sub>r</sub> , A <sub>D</sub> , V <sub>D</sub> , V <sub>e</sub> , E <sub>a</sub> e E <sub>s</sub> , teste nº 2, área CA <sub>2</sub> .....	108
17	Relação entre Y <sub>r</sub> , A <sub>D</sub> , V <sub>D</sub> , V <sub>e</sub> , E <sub>a</sub> e E <sub>s</sub> , teste nº 3, área CA <sub>2</sub> .....	109
18	Relação entre Y <sub>r</sub> , A <sub>D</sub> , V <sub>D</sub> , V <sub>e</sub> , E <sub>a</sub> e E <sub>s</sub> , teste nº 1, área AA <sub>2</sub> .....	109
19	Relação entre Y <sub>r</sub> , A <sub>D</sub> , V <sub>D</sub> , V <sub>e</sub> , E <sub>a</sub> e E <sub>s</sub> , teste nº 2, área AA <sub>2</sub> .....	110
20	Relação entre Y <sub>r</sub> , A <sub>D</sub> , V <sub>D</sub> , V <sub>e</sub> , E <sub>a</sub> e E <sub>s</sub> , teste nº 3, área AA <sub>2</sub> .....	110
21	Relação entre Y <sub>r</sub> , A <sub>D</sub> , V <sub>D</sub> , V <sub>e</sub> , E <sub>a</sub> e E <sub>s</sub> , teste nº 4, área AA <sub>2</sub> .....	111

À minha esposa GRAÇA.  
Aos meus pais, VIRGILIO e TEREZINHA.  
Aos meus irmãos, FÁTIMA, TELMA, RONALDO e PAULO SERGIO.  
Aos meus filhos, ÉDER e KELEN.

DEDICO.

"Os pesquisadores são os garimpeiros da Ciência. Acorrem à promissora lavra com infatigável dedicação. Sem desânimo, mas sem exultação. Cada tentativa malograda retempera-lhe o ânimo. Cada nova descoberta, nada mais que uma contingência natural do seu habitual labor. Não obstante a primazia do seu trabalho, eximem-se de qualquer privilégio, salvo o da liberdade de criar"

J. Júlio da Ponte

Membro da Academia Cearense de Ciências

## AGRADECIMENTOS

Ao Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS - pela oportunidade da realização deste curso.

Ao Professor FRANCISCO DE SOUZA, pela dedicação e orientação ao longo deste trabalho.

Aos Professores MOISÉS CUSTÓDIO SARAIVA LEÃO e JOSÉ OSÓRIO COSTA, pela valiosa colaboração e sugestões apresentadas.

A todos os Professores do Curso de Mestrado em Irrigação e Drenagem pela consideração e ensinamentos transmitidos no decorrer do curso.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola e da Fazenda Experimental Vale do Curu, pela colaboração e tratamento cordial durante a realização do curso e trabalhos de campo.

Aos colegas de curso, pela amizade, companheirismo e pelo convívio alegre e sincero.

## RESUMO

Para a realização dos estudos foram instalados dois sistemas de irrigação por aspersão convencional na Fazenda Experimental do Vale do Curu (Pentecoste-Ce, Brasil). Os trabalhos se desenvolveram no período de agosto a dezembro de 1987.

Os dois sistemas, que abrangem, cada um, uma área de 0.388 ha, ocupada com feijão-de-corda (Vigna unguiculata (L) Walp), apresentam diferentes técnicas de manejo na aplicação da água às culturas. Uma das técnicas, definida como manejo convencional, é aquela em que a aplicação da água se faz através de uma lâmina constante em intervalo de rega também constante. O outro tipo de manejo é o denominado "tecnificado", em que a aplicação da água, se faz com base na curva característica de uso consuntivo acumulado da cultura, obtida através dos dados levantados por SAUNDERS et alii (1981). Há variações, portanto, de lâmina e intervalo de rega. O objetivo dos estudos é comparar os dois projetos a partir das análises dos parâmetros de qualidade técnica das irrigações e dos indicadores de avaliação econômica.

Os sistemas operaram hidráulicamente independentes, utilizando o mesmo tipo de equipamento e idêntico esquema de operação (uma linha principal fixa e três posições de lateral com apenas um ramal móvel em funcionamento). Foram utilizados aspersores ZE-30, da ASBRASIL, bocal de 6,0 mm, a uma

pressão de serviço de 2,5 atm, vazão de 0,60 l/seg e uma taxa de aplicação de 6,67 mm/h, no espaçamento 18 x 18 m.

A avaliação técnica se procedeu a partir dos dados obtidos nos 7 (sete) testes realizados em campo, sendo 4 (quatro) efetuados na área com manejo tecnificado e 3 (três) na área com manejo convencional. Através da aplicação do modelo linear de KARMELI et al. (1978), citados por RIBEIRO (1982), foram conhecidos os parâmetros de avaliação da performance dos dois sistemas de irrigação: Eficiência de aplicação (Ea), Eficiência de armazenamento (Es) e Perdas por percolação profunda (Dp). Os coeficientes de uniformidade foram obtidos a partir da aplicação das equações propostas por CHRISTIANSEN (CUC) e por HART (CUH).

Na avaliação econômica foram empregados instrumentos de análise no sentido de medir a rentabilidade da cultura levando em conta que os trabalhos limitaram-se à produção de uma única safra e que o equipamento de irrigação foi utilizado num período de apenas 1/3 do ano. Assim, é que, foram utilizados o Lucro, Retorno ao Trabalho e Retorno à Água, como parâmetros de medições econômicas.

Os resultados obtidos das análises permitem estabelecer as seguintes conclusões:

. As irrigações dos dois sistemas apresentaram um bom padrão de eficiência. No entanto, os coeficientes de uniformidade indicaram irrigações de baixa uniformidade de distribuição (CUC < 80%);

. Os fatores climáticos tais como, o vento, a temperatura e a umidade relativa do ar, não exerceram influência so

bre os resultados da performance dos dois sistemas, visto que as irrigações foram realizados no período noturno;

. A pressão de serviço dos aspersores, altura da haste, diâmetro dos bocais e espaçamento, outros fatores alteradores da performance da irrigação por aspersão, igualmente não exerceram influência na qualidade técnica das irrigações, em virtude de terem sido mantidos constantes, segundo as especificações do fabricante;

. Os baixos valores dos coeficientes de uniformidade foram atribuídos à alta velocidade de rotação dos aspersores;

. As variações entre os valores, teste a teste, dos coeficientes de uniformidade das irrigações do sistema de manejo tecnificado, foram atribuídos à variação na média de rotação dos aspersores de teste e imprecisões nas medições de campo;

. As variações, teste a teste, existentes entre as eficiências de aplicação e de armazenamento e as perdas por percolação estão relacionadas com a variação da lâmina real requerida;

. Nas condições do estudo, os dois sistemas apresentaram-se tecnicamente iguais. Contudo, a maior simplicidade na aplicação do manejo convencional além de, provavelmente, mais reduzida suscetibilidade ao ataque de doenças, conferem a este tipo de manejo a preferência para utilização em médios e grandes projetos;

. O projeto cujo sistema operou com manejo convencional, obteve resultados econômicos mais favoráveis em virtude

da cultura ter atingido maior nível de produtividade;

. Fatores não previstos nos estudos (características físicas inadequadas dos solos, e incidência, de forma intensiva, de doença) contribuíram para obtenção de uma expressiva redução de produtividade da cultura irrigada sob manejo técnico. Em consequência a comparação econômica entre os dois projetos tornou-se inconsistente.

## ABSTRACT

Two conventional sprinkler irrigation systems were set on the "Vale do Curu Experimental Station" (Pentecoste-CE, Brasil) for performing the studies. Works were carried out from August to December in 1987.

Both systems cover, each one, a land area of 0,388ha (0,96 acres) planted to caupi (Vigna unguiculata (L.) Walp), and present different techniques of management of water application on crops. In one of the techniques, defined as conventional management, water is applied on constant depth and also constant length of irrigation run. The other type of management is called "technical" and water application is based on the characteristic curve of the crop accumulated consumptive use, got from SAUNDERS et alii's (1981). So, there are variations in the depth of water and in the length of irrigation run. This study intends to compare both projects by investigating the parameters of technical qualities of the irrigation and of the economical evaluation index numbers.

The systems operated independent, in the hydraulic standpoint, and used the same type of equipment and identical operation scheme (a fixed mainline and three lateral positions with only one movable line on operation). ASBRASIL ZE-30 sprinklers were used, with a 6,00 mm. Nozzle size, a 2,50 atm. Nozzle pressure, a 0,6 l/s discharge, a 6,67 mm/h

precipitation, and a 18 x 18 m spacing.

The technical evaluation was carried out from the data got from 7 (seven) field tests, 4 (four) of them with technical management and the three others with conventional one. The parameters of the two irrigation systems performance evaluation were known by applying the KARMEELLI et alii's (1978) linear model, mentioned by RIBEIRO (1982): application efficiency (AE), storage efficiency (SE) and deep percolation losses (DPL). The uniformity coefficients were obtained from the application of the CHRISTIANSEN and HART'S equations (CUC and HUC).

In the technical equaluation, analysis instruments were used for measuring crop profitability considering that only one harvest was yielded and irrigation equipment was used for just a third of an year period. Therefore, profit, return to work and return to water were used as economical measurement parameters.

Analyses results allow one to establish the following conclusions:

- The two irrigation systems had a good efficiency pattern, but the uniformity coefficients indicated low uniformity distribution (CUC < 80%).

- Climatic factors as wind, temperature and relative humidity did not affect the two systems performance since irrigations occurred by night.

- Sprinklers nozzle pressure, riser's height, nozzles diameter, spacing and other modifying factors of sprinkler irrigation performance, didn't have influence on irrigations

technical quality, because they remained constant, during the tests, according to the manufacturer's specifications:

- Low values on the uniformity coefficients occurred because of sprinklers rotation high speed.

- Variations among the uniformity coefficient values, test by test in the technical management system occurred, because of the variation of the test sprinklers rotation average, and the field measurements inaccuracy.

- Variations, test by test, among the application and storage efficiencies, and percolation losses are related to the change of the required actual depth.

- In the conditions of the study, both systems were technically the same. However, for the greater simplicity on application of the conventional management, besides its little sensitivity to diseases attack, it is the type of management that large and medium projects prefer to use.

- The project which system was operated under conventional management got better economical results because the crop achieved a higher level of productivity.

- Unforeseen factors in the study (Soil Unsuitable Physical Characteristics and an Intensive Disease Incidence) helped to obtain an expressive productivity decrease of the crop irrigated under technical management. As a consequence the economical comparison between both projects became inconsistent.

## 1 - INTRODUÇÃO

A agricultura impõe, para segurança do seu êxito, o suprimento da água através da chuva, ou mesmo aplicada artificialmente através da prática de irrigação. A água pelo seu comportamento físico é fator imprescindível à vida em geral. Particularmente para os vegetais constitui-se em parte integrante da formação dos alimentos.

A irrigação constitui uma peça muito importante no desenvolvimento do espaço rural, especialmente no nordeste brasileiro onde se pratica uma agricultura fortemente limitada pelas irregularidades pluviométricas, além dos problemas que apresenta no âmbito estrutural, social e econômico.

A finalidade expressa da irrigação é ministrar água às plantas, na medida de suas necessidades e de forma econômica e eficiente. Para que um projeto de irrigação seja bem conduzido, torna-se indispensável o conhecimento das relações solo-água-planta e do desempenho técnico do sistema.

Assim, a eficiência do sistema está condicionada à consideração ao tipo de solo, ao clima, no que se refere à temperatura e aos ventos, à exigência em água das plantas nos seus diversos estágios de desenvolvimento e, finalmente, ao comportamento hidráulico do sistema.

Dentre os vários métodos de irrigação existentes, o de aspersão, desenvolvido em época relativamente recente, é aquele em que o homem aplica, quando e como deseja, a chuva

que faltou, sem a necessidade de obras especiais de terraplanagem ou de sistematização da superfície do terreno.

O método de irrigação por aspersão permite, portanto, perfeito controle da lâmina de água aplicada possibilitando que haja um ajuste referente às condições do sistema água-solo-planta. No entanto, para que isto ocorra, diversos fatores que interferem na eficiência e uniformidade de aplicação da água precisam ser estudados e definidos no sentido de possibilitar a elaboração e o manejo correto de projetos. Dentre estes fatores destacam-se: pressão de serviço, uniformidade e velocidade de rotação do aspersor, altura da haste, diâmetro e tipo do bocal, espaçamento e direção do vento, temperatura e umidade relativa do ar.

Para o completo êxito da agricultura irrigada torna-se indispensável que ela seja desenvolvida de modo a apresentar resultados econômicos favoráveis. Portanto, além dos fatores técnicos referidos acima, que influenciam diretamente nos rendimentos econômicos, a avaliação dos aspectos econômicos é de suma importância na determinação de uma relação adequada entre a qualidade da irrigação e o valor econômico do sistema de produção.

O presente trabalho se propõe avaliar, técnica e economicamente, dois sistemas de irrigação por aspersão, na cultura do feijão-de-corda (Vigna unguiculata (L) Walp), utilizando duas formas de aplicação de água: a) lâmina de água aplicada com base na curva de uso consuntivo acumulado da cultura - as lâminas são aplicadas em intervalos de rega variáveis e suas quantidades variam em função do crescimento

do sistema radicular; b) lâmina de água aplicada segundo o modelo convencional: lâmina e intervalo de rega constante durante todo o ciclo da cultura.

Dessa forma, o conhecimento dos parâmetros técnicos e econômicos permitirá a escolha do manejo de aplicação de água mais adequado à cultura do feijão-de-corda.

## 2 - REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 - Avaliação técnica de um sistema de irrigação por aspersão

A "American Society of Agricultural Engineers"- ASAE (1975), através de seu comitê de irrigação por aspersão, apresentou algumas recomendações a serem utilizadas na execução de testes de desempenho de aspersores, as quais são mostradas a seguir:

- O aspersor deve ser instalado em área plana, livre de vegetação ou com vegetação inferior a 8 cm. Testes com aspersores de vazão menor que 2.21 l/seg a declividade recomendada é que seja inferior a 1%, e para vazões superiores a 2.21 l/seg a declividade deve ficar em torno de 2%;

- Os pluviômetros devem ter a mesma área de coleta, devem ser instalados verticalmente, uniformemente espaçados, formando quadrículas em torno do aspersor. O número mínimo de pluviômetros para a realização de um teste é de 80 unidades.

- A pressão de serviço do aspersor deve ser medida no bocal principal, utilizando-se um manômetro acoplado a um tubo pitot. A vazão do aspersor deve ser medida em cada teste, através da medição volumétrica. O volume coletado deve

ser medido com precisão em torno de 2% da lâmina média aplicada. A velocidade angular do aspersor deve ser medida em cada quadrante;

- Os parâmetros climáticos tais como a velocidade e direção do vento, temperatura e umidade relativa do ar, na área, devem ser aferidos durante a realização dos testes;

- O tempo de realização dos testes nunca deve ser inferior a 1 hora.

OLITTA (1984), afirma que o projeto de um sistema de aspersão requer, entre outras informações, o conhecimento da distribuição e quantidade de água aplicada, bem como a taxa de aplicação. O melhor processo para obter estes dados com precisão é executando os testes de campo com os aspersores mediante as condições prevalecentes da operação do sistema.

De acordo com BERNARDO (1982), a uniformidade de aplicação d'água sobre a área irrigada é um dos principais parâmetros para avaliar o desempenho de um sistema de irrigação por aspersão. O coeficiente de uniformidade é o principal parâmetro usado para avaliar a uniformidade de aplicação de água, sendo recomendável um valor mínimo de 80%. Quando um sistema apresenta um coeficiente de uniformidade inferior a este mínimo, pode-se melhorar a sua performance de duas maneiras: reestudando o espaçamento entre os aspersores ou usando posições alternadas.

CHRISTIANSEN (1942), estudando a performance de sistemas de irrigação por aspersão, a partir de testes realizados, propôs uma expressão numérica que determinasse o valor

da uniformidade de distribuição de água, denominada de coeficiente de uniformidade (CU). Este coeficiente expresso em porcentagem é definido por:

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{\sum |Y_i - \bar{Y}|}{\bar{Y} \cdot n} \right) \quad (1)$$

onde:  $(Y_i - \bar{Y})$  - é o desvio absoluto das observações individuais do valor médio

$n$  = é o número de observações

HART (1961) e HART & REYNOLDS (1965), citados por RIBEIRO (1982) desenvolveram um coeficiente de uniformidade, considerando que a precipitação dos aspersores comumente usada sob espaçamentos padrões é normalmente distribuída e, conseqüentemente, seu padrão pode ser descrito por uma distribuição normal. Portanto, a média é igual ao produto do desvio padrão por uma constante de valor 0,798, ou seja,

$$\sum_{i=1}^n \frac{(Y_i - \bar{Y})}{n} = 0,798 \cdot s \quad (2)$$

O coeficiente obtido, chamado coeficiente de uniformidade de HART (CUH), é definido como:

$$CUH = 100 \left| 1 - \frac{0,798 \cdot s}{\bar{Y}} \right| \quad (3)$$

Estudando os fatores que influenciam a eficiência e uniformidade de distribuição da água na irrigação por aspersão, através do modelo linear de KARMELI et alii (1978), RI-

BEIRO (1982), concluiu que:

- Os valores do CUC (coeficiente de uniformidade de CHRISTIANSEN) e CUH (coeficiente de uniformidade de HART) podem ser usados indistintamente quando o valor do coeficiente de variação (CV) é baixo ou médio;

- O modelo proposto é de fácil aplicação, possibilitando rápida análise e interpretação dos dados e apresenta elementos práticos para verificação da performance dos aspersores e sistemas de irrigação.

Na determinação dos parâmetros de avaliação de sistemas de irrigação por aspersão, NOGUEIRA (1987), concluiu que, para valores do coeficiente de variação (CV) entre 28% e 59%, os modelos linear de KARMELI (1978) e normal podem ser indistintamente aplicados para a determinação dos parâmetros de performance da irrigação por aspersão. No entanto, a aplicação do modelo linear é mais simples e prático.

Segundo KELLER (1979), baixo valor do coeficiente de uniformidade, indica que as perdas devidas à percolação profunda serão excessivas. Embora o conceito de valores baixos seja relativo, coeficientes de uniformidade abaixo de 79% são considerados baixos.

## 2.2 - Fatores que influenciam a qualidade técnica da irrigação por aspersão

SOLOMON (1979), afirmou que o coeficiente de uniformidade de um dado projeto depende de variáveis de projeto, tais como a marca do aspersor, o tamanho e tipo do bocal, pressão e o espaçamento e de uma variável incontrolável, a velocidade do vento. No entanto, mesmo que o ensaio seja realizado sob idênticas condições dos fatores citados, ainda assim muitos outros fatores interferem nos resultados do coeficiente de uniformidade. Compõem as chamadas classes de influência nos valores do coeficiente de uniformidade. Uma dessas classes envolve as incertezas devido ao método experimental. Muitas medições são efetuadas durante o procedimento do ensaio, tais como volumes de água coletados em coletores (pluviômetros), pressão, vazão, etc. Imprecisões nessas medições, que ocorrem inevitavelmente, contribuem para a variação, teste a teste, nos valores do coeficiente de uniformidade.

RIBEIRO (1982), estudando os padrões de distribuição de 4 aspersores disponíveis no mercado, bem como os fatores que influenciaram na eficiência e na uniformidade de distribuição da água na irrigação por aspersão verificou que os aspersores tendem a diminuir o coeficiente de uniformidade com o aumento da velocidade do vento, sendo que o aspersor de maior diâmetro molhado apresentou melhor coeficiente de uniformidade. Afirmou ainda que a irrigação por aspersão rea

lizada antes das 8:00 horas é mais adequada do ponto de vista de eficiência devido ao pequeno efeito dos fatores climáticos sobre a distribuição e perdas de água.

Segundo CHRISTIANSEN (1942), o objetivo principal da irrigação por aspersão é distribuir água ao solo na forma de chuva de tal maneira que ela seja absorvida pelo solo sem escoamento superficial. A uniformidade na aplicação da água depende do tipo de distribuição que é função do vento, pressão de serviço, uniformidade de rotação dos aspersores, altura da haste, diâmetro e tipo de bocal. A uniformidade depende também do espaçamento entre os aspersores.

GOMIDE et alii (1980), com o objetivo de apresentar uma metodologia para a determinação e análise da uniformidade de distribuição da água na irrigação por aspersão, desenvolveram uma equação para determinação e análise do coeficiente de uniformidade de CHRISTIANSEN, de acordo com a altura do tubo de elevação do aspersor, a pressão no bocal, a velocidade média do vento, o espaçamento entre os aspersores ao longo da lateral e o espaçamento entre as linhas laterais.

A qualidade de um sistema de irrigação por aspersão pode ser avaliada, conforme WALKER (1979), através da uniformidade de distribuição da água. Vários fatores afetam a uniformidade, tais como, a diferença nas vazões individuais dos aspersores ao longo da linha lateral e a precipitação desuniforme dentro da área efetiva de cada aspersor. As perdas são provocadas pela ação do vento, evaporação que ocorre entre o bocal do aspersor e o solo, bem como devido ao tamanho da gota e a taxa de aplicação.

HANSEN (1960) citado por BAPTISTELLA et alii (1980), descrevem alguns aspectos da eficiência de irrigação para avaliar adequadamente a qualidade de uma irrigação. A eficiência de aplicação ( $E_a$ ) fornece uma indicação por aplicação de água em excesso; a eficiência de armazenamento ( $E_s$ ) indica o reabastecimento em torno do sistema radicular; e a água que percola profundamente ( $D_p$ ) é uma indicação das perdas existentes.

De acordo com KELLER (1979), a eficiência de aplicação não fornece indicação da suficiência da irrigação, e com sub-irrigação ela pode chegar a 100%. A eficiência de aplicação dá apenas uma indicação das perdas uma vez que ela simplesmente mostra a fração de água aplicada armazenada na zona radicular. Um conceito mais consistente de eficiência de irrigação deve combinar medida de uniformidade, de suficiência de irrigação e perdas.

O desempenho de um sistema de irrigação, pode ser descrito, segundo HART et alii (1979), pela eficiência de armazenamento, eficiência de percolação profunda, eficiência de distribuição e uniformidade de distribuição.

Conforme BAGLEY et alii (1955), um dos fatores mais importantes que afetam a demanda de água para qualquer sistema de irrigação é a eficiência de irrigação. A eficiência de aplicação da água, definida como a razão da água armazenada na zona das raízes e utilizada pelas culturas, para a água aplicada no campo, é a medida comumente usada na prática da irrigação, contudo, a eficiência de aplicação pode ser alta e a prática da irrigação pobre se a água aplicada não for

distribuída de modo uniforme pelo campo e zona das raízes. Afirma ainda que, a eficiência de aplicação é fortemente afetada por fatores climáticos como a umidade relativa do ar e a temperatura, as quais influenciam a evaporação, e ainda a velocidade do vento que também influencia de modo expressivo a uniformidade de distribuição. O espaçamento entre aspersores e pressão de serviço também exercem influência marcante na eficiência de aplicação.

DAKER (1970), salientou que comumente se consegue uma alta eficiência de irrigação com o método de aspersão, onde se pode obter, quando o sistema for adequadamente calculado e operado, uma eficiência de 85%, embora normalmente se deva tomar os valores entre 70 e 80%.

Segundo HALDERMAN et alii (1968), a água de irrigação pode ser aplicada, com um sistema de aspersão bem projetado, com uma eficiência de 70 a 80%. Isto significa que 70 a 80% da água que sai da bomba é armazenada no solo para uso das culturas. As perdas incluem:

- (a) vazamento em tubulações e conexões;
- (b) evaporação;
- (c) espalhamento das gotas causadas pelo vento;
- (d) distribuição não uniforme.

CHRISTIANSEN (1942), informa que o aumento na velocidade de rotação dos aspersores provoca uma redução na área coberta ensejando um aumento na taxa de aplicação. Neste caso a solução é diminuir o espaçamento dos aspersores para assegurar a mesma uniformidade de distribuição.

De acordo com BERNARDO (1982), a velocidade de rota-

ção de aspersores de baixa velocidade de rotação, que são os tipos mais comuns, deve ficar na faixa de uma a duas rotações por minuto (RPM), sendo que para um bom desempenho a velocidade de rotação deve ser uniforme.

Conforme CHRISTIANSEN (1942), aspersores já usados apresentam maior variação na taxa de rotação do que os novos, motivo pelo qual numa mesma linha podem ocorrer consideráveis diferenças na performance dos aspersores.

SOARES et alii (1986), avaliaram a qualidade do manejo de água, a nível de parcela, no sistema por aspersão NILO COELHO, e verificaram que em um dos setores a eficiência de irrigação e o coeficiente de uniformidade atingiram níveis de 50,30% e 69,99%, respectivamente, para uma pressão média de 2,08 atm, velocidade do vento em torno de 3,27 m/seg e velocidade de rotação dos aspersores entre 3,0 e 5,0 rpm. Os baixos valores obtidos foram atribuídos à elevada velocidade do vento e à alta taxa de rotação dos aspersores.

Os aspectos de clima tais como velocidade do vento, umidade relativa e a temperatura do ar são os principais fatores que afetam a perda de água por evaporação na irrigação por aspersão, sendo que a intensidade do vento também afeta a uniformidade de aplicação de água (BERNARDO, 1982).

NOGUEIRA (1987), estudando a performance técnica mediante a análise dos testes de desempenho de dois sistemas de irrigação por aspersão, observou que a direção do vento não exerceu influência nos resultados uma vez que o espaçamento utilizado era quadrado (18 x 18 m).

### 2.3 - Aspectos técnicos e econômicos na análise da irrigação por aspersão

HART et alii (1980), afirmaram que a performance de um sistema de irrigação pode ser descrito completamente em termos de quatro parâmetros: fração da água absorvida armazenada na zona da raiz; fração da água requerida satisfeita; fração da água aplicada absorvida; e fração da água que percola abaixo da zona da raiz. Afirmaram ainda que, com base nestes parâmetros, a análise de um sistema de irrigação permite que se avalie o rendimento da irrigação e que se defina como ela pode ser melhorada, tornando a distribuição mais uniforme ou reduzindo ou aumentando a aplicação total.

Segundo CRIDDLE et alii (1969), sete fatores principais devem ser examinados em qualquer sistema de aspersão para execução de um projeto com manejo adequado, bem como para a introdução dos ajustes a serem procedidos:

- (1) Intensidade de aplicação - a taxa de aplicação de água deve ser menor ou igual a capacidade de infiltração do solo. Por outro lado não deve ser muito baixa a fim de que sejam evitadas perdas excessivas por evaporação;
- (2) Profundidade de aplicação - a quantidade de água aplicada não deve ser maior do que a lâmina real requerida. Quantidades maiores devem ser aplicadas somente quando houver necessidade de remoção de sais;

- (3) Capacidade do sistema - o equipamento deve suprir a umidade do solo a uma taxa no mínimo igual à taxa máxima de utilização da cultura;
- (4) Uniformidade de aplicação - a água deve ser aplicada de maneira uniforme em toda a área. O ponto de aplicação menos úmido, deve receber pelo menos 80% da lâmina média aplicada. A uniformidade de aplicação é afetada por diferenças nas descargas dos aspersores, tanto ao longo das laterais como entre laterais;
- (5) Perdas de água - as maiores perdas de água que ocorrem num sistema de aspersão ficam por conta da velocidade do vento e evaporação que existe entre o bico do aspersor e o solo. O tamanho das gotas e taxa de aplicação afetam estas perdas. Para o uso eficiente da água tais perdas não devem ser mais do que 10 a 15% da descarga através do sistema;
- (6) O dimensionamento do equipamento de irrigação deve ser tal que haja um equilíbrio econômico entre o custo do equipamento e o custo da energia;
- (7) A água deve ser aplicada de uma forma que não prejudique fisicamente a cultura.

BERNARDO (1982), afirmou que a intensidade de aplicação d'água na irrigação por aspersão deve ser tal que toda a aplicação infiltre no solo, não havendo, assim, escoamento superficial. Salientou ainda que, o método de irrigação por aspersão adapta-se melhor aos solos de textura média e grossa, com a vantagem de se operar com um menor tempo de funcio

namento das laterais e, por via de consequência implicar num menor custo do sistema. Por outro lado lembra que a irrigação por aspersão, no processo de lavagem das folhas da cultura, propicia um aumento na umidade relativa do ar em torno da cultura, criando condições favoráveis ao desenvolvimento de doenças.

Segundo SCALOPPI (1986), as principais desvantagens da irrigação através do sistema de aspersão, estão relacionadas ao custo dos equipamentos, ao maior consumo de energia devido as elevadas alturas manométricas normalmente requeridas, à uniformidade de distribuição de água ser muito afetada pelo vento, à interferência nos tratamentos fitossanitários das culturas, e aos prejuízos à polinização e fixação dos botões florais, causados pelo impacto mecânico associado à energia cinética das gotas que se precipitam sobre a vegetação.

Segundo HALDERMAN et alii (1968), numa irrigação por aspersão, efeitos positivos e negativos são comparados para determinar se o citado método é melhor ou não do que outra alternativa disponível. Afirma que efeitos positivos incluem retornos adicionais e custos reduzidos, efeitos negativos implicam em custos adicionais e retornos reduzidos. Dentre os itens que incluem redução de custos é o custo por bombeamento (se menos água for utilizada) bem como mecanismos de operação mais eficiente, proporcionando menor depreciação do equipamento de irrigação. Afirma ainda que os custos de um sistema por aspersão incluem custos de capital (investimento), energia, depreciação, trabalho e manutenção. No referi-

do sistema os custos referentes a depreciação, de investimentos, manutenção, energia para a pressão dos aspersores e mão-de-obra para movimentar o sistema, são custos adicionais. As perdas de culturas causadas pelo movimento da tubulação ou terras ociosas ao longo da lateral são responsáveis por reduções de retorno.

CHAUDHRY (1978), elaborou estudos do limite de uniformidade em função da relação benefício-custo motivado pelos altos custos de investimento, manutenção e as incertezas dos benefícios esperados.

Segundo JENSEN et alii (1967), quando o modelo de distribuição de um sistema de irrigação é conhecido, o mesmo pode ser usado para avaliar a qualidade da irrigação. A garantia de que determinada área recebeu uma aplicação de água sem deficiência é obtida dividindo-se a lâmina média necessária pelo coeficiente de distribuição. Tendo em vista razões econômicas, parte da área pode ficar deficientemente irrigada e o restante adequadamente. A fração da área mal irrigada é função do valor econômico e da sensibilidade do desenvolvimento da cultura, tanto no que se relaciona ao déficit hídrico como ao excesso de água.

O excesso de água talvez seja a maior causa de perdas em um sistema de irrigação. Um planejamento adequado e um manejo cuidadoso fazem com que as perdas por percolação profunda (devidas ao excesso de água) sejam reduzidas e são de muita valia em termos de economia de água e custos correlatos (KELLER, 1979).

BAPTISTELLA et alii (1980), trabalhando com aspersor

canhão setorial verificaram que a eficiência de armazenamento cresce com o aumento do coeficiente de uniformidade e com a redução da lâmina d'água requerida, sendo que no primeiro caso resulta em menor área irrigada e no segundo, em maior volume de excesso. O aumento da eficiência de armazenamento resulta em redução da eficiência de aplicação, consequentemente o excesso de água aplicada é maior, elevando os custos da irrigação.

Conforme REED et alii (1980), a eficiência de irrigação diz respeito ao percentual de água de irrigação que é usado pelas culturas, depois de ocorrerem as perdas. A perda de água, que ocorre desde a sua fonte de suprimento até seu destino, pode ser um fator importante nos custos de irrigação, principalmente quando a água terá de ser levada a longas distâncias.

Segundo SOLOMON (1979), a uniformidade com que um sistema de irrigação por aspersão aplica água é muito importante no seu desempenho. Aplicação não uniforme, resulta em perdas econômicas devido a combinações de excesso ou insuficiência de água. Por outro lado o custo de sistemas bem projetados para aplicação uniforme é geralmente mais alto. Com vistas a se decidir por projetos que tenham retorno econômico, é importante se fazer medições corretas e se possível prever a uniformidade.

BRITO et alii (1986), estabeleceram uma composição estimativa de custos dos sistemas de irrigação por aspersão mais utilizados no país, linhas laterais portáteis (aspersão convencional), auto propelido e pivô central. As análises de

monstraram que entre os custos variáveis o mais significativo foi o da energia. Os resultados obtidos revelaram que os sistemas acionados à eletricidade apresentaram sempre um custo inferior aos acionados a óleo diesel. As diferenças aumentaram com a lâmina anual requerida.

### 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 - Caracterização da área do experimento

##### 3.1.1 - Localização

Os trabalhos foram conduzidos na Fazenda Experimental do Vale do Curu, pertencente à Universidade Federal do Ceará, no período de agosto a dezembro de 1987. Os experimentos foram implantados em duas áreas de aproximadamente 0,38ha cada, denominadas AA<sub>2</sub> e CA<sub>2</sub>.

A Fazenda está situada no município de Pentecoste-CE, entre os paralelos 3°45' e 4°00's e os meridianos 39°15' e 39°30' a Oeste de Greenwich, distando, aproximadamente, 110km de Fortaleza.

##### 3.1.2 - Clima

Para caracterizar o clima foi utilizada a classificação de Koeppen, bastante divulgada dada a sua fácil aplicação. Está baseada nos valores médios das precipitações pluviométricas e temperatura do ar.

De acordo com essa classificação o clima da área é do tipo BSw'h' - clima quente e semi-árido. A estação chuvosa se atrasa para o outono. Caracteriza-se ainda por apresentar a temperatura superior a  $18^{\circ}\text{C}$  no mês mais frio. A temperatura média mensal mínima é de  $21,9^{\circ}\text{C}$  enquanto a máxima é de  $34,8^{\circ}\text{C}$ . As maiores precipitações concentram-se nos meses de fevereiro a abril, sendo o mês de março o mais chuvoso. A precipitação média anual está em torno de 880 mm.

A TABELA 1 apresenta informações climáticas detalhadas referente ao ano de 1987.

### 3.1.3 - Relevo

A topografia das áreas estudadas se insere na classe de declive de 0 - 2,5% que define o relevo como sendo tipicamente plano.

### 3.1.4 - Solos

Os solos são aluviais formados por deposições fluviais de textura indiscriminada, sem disposição preferencial de camadas.

São solos de textura arenosa em superfície e média em profundidade. As amostras coletadas em 3 (três) profundid

TABELA 1 - Dados obtidos na Estação Agrometeorológica da Fazenda Experimental do Vale do Curu (Pentecoste-CE) no ano de 1987.

Meses	Temperatura do Ar			Umidade Relativa (%)	Vento		Insolação (horas)	Evaporação (mm)	Precipitação (mm)	Pressão de Vapor (mm/Hg)	Nebulosidade (n/10)
	Média Compens. °C	Média Max. °C	Média Min. °C		Direção	Velocidade (km/h)					
JAN	28,1	35,1	23,1	70	NNE	15,12	206,9	141,3	10,8	19,8	6,0
FEV	27,9	34,8	23,2	71	NE	15,48	214,3	112,8	44,8	19,8	6,0
MAR	26,4	31,7	22,9	87	N	8,28	94,6	56,0	273,1	22,2	8,0
ABR	26,6	32,0	22,6	83	E	9,72	198,5	57,2	47,0	21,5	6,0
MAI	27,0	33,8	21,9	74	N	11,52	244,5	111,9	4,8	19,6	4,0
JUN	26,4	32,6	22,0	76	N	9,72	203,7	88,9	149,4	19,4	5,0
JUL	26,2	32,7	20,8	72	ESE	11,16	247,5	107,6	15,7	18,2	4,0
AGO	27,3	35,0	21,2	63	N	12,60	280,6	153,5	0,0	16,2	3,0
SET	27,5	35,2	22,4	64	N	15,84	267,3	168,2	5,6	17,4	3,0
OUT	27,8	35,6	22,6	65	N	17,28	304,4	179,9	0,0	18,0	3,0
NOV	28,2	35,8	22,9	69	N	17,28	293,9	177,6	0,0	19,6	3,0
DEZ	28,4	35,8	23,4	66	N	18,0	302,7	186,3	0,0	19,0	3,5
TOTAIS							2.858,9	1.541,2	551,2		
MÉDIA	27,3	34,2	22,4	71,7		13,5				19,2	4,5

dade (0-30 cm, 30-60 cm e 60-90 cm), permitiram a obtenção de suas características físicas cujos resultados são apresentados na TABELA 2.

A análise de fertilidade aponta altos teores de fósforo, potássio e cálcio + magnésio para os solos de ambas as áreas.

Não há presença de alumínio tóxico, sendo o teor de 0,10 mE/100 g.

o pH em torno de 7,0 classifica esses solos como praticamente neutros.

### 3.2 - Procedimento de campo

Os experimentos constaram de dois sistemas semifixos de irrigação por aspersão, hidraulicamente independentes, instalados nas áreas AA<sub>2</sub> e CA<sub>2</sub>, cultivadas com feijão-de-corda (Vigna unguiculata (L) Walp) - cultivar pitiuba, cuja semente foi procedente do Laboratório de Sementes do Departamento de Fitotecnia do CCA/UFC.

Após o preparo das áreas, que constou de uma aração e gradagens cruzadas, foram montados os dois sistemas cujos esquemas hidráulicos constaram de uma linha principal e uma linha lateral (contendo quatro aspersores) movendo-se em 3 (três) posições ao longo da linha principal (ANEXO 1).

Os aspersores, modelo ZE-30 da ASBRASIL, funcionaram no espaçamento 18 x 18 m, em ambos os sistemas. Toda a opera

TABELA 2 - Características físicas dos solos.

Camada	Composição Granulométrica (%)				Classificação Textural	Densidade do Solo	Umidade (%) (Em Peso)		Taxa de Infiltração (mm/h)
	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila			CC	PM	
ÁREA AA <sub>2</sub>									
0 - 30	3	64	21	12	Franco arenoso	1,66	17,47	5,4	7,0
30 - 60	2	49	31	18	Franco arenoso	1,45	11,92	6,9	-
60 - 90	1	29	46	24	Franco	-	27,69	9,8	-
ÁREA CA <sub>2</sub>									
0 - 30	3	66	18	13	Franco arenoso	1,50	16,60	5,2	8,0
30 - 60	1	61	24	14	Franco arenoso	1,45	18,73	5,7	-
60 - 90	1	52	30	17	Franco arenoso	-	22,10	7,5	-

Resultados das análises realizadas no Laboratório de Solo do CCA/UFC.

ção foi desenvolvida conforme as características apresentadas pelo fabricante, no que diz respeito a diâmetro do bocal, vazão e pressão, cujos valores são apresentados no ANEXO 1.

A diferença técnica entre os dois experimentos foi o manejo utilizado na aplicação de água durante as irrigações. Na área CA<sub>2</sub> a aplicação de água se fazia de forma convencional, ou seja, segundo uma lâmina constante em intervalos de rega também constantes, durante todo o ciclo da cultura. Enquanto na outra área, AA<sub>2</sub>, a aplicação de água era feita com base na curva de uso consuntivo acumulado da cultura. Foram aplicadas 3 (três) lâminas diferentes ao longo do ciclo, sendo que cada lâmina era aplicada de conformidade com o desenvolvimento do sistema radicular. A primeira lâmina, que se estendeu, aproximadamente, até o 25º dias, foi aplicada até a profundidade de 20 cm; a segunda lâmina, que prolongou-se até aos 50 (cinquenta) dias, foi aplicada até 40 cm; e finalmente a terceira lâmina, utilizada até o final do ciclo, foi aplicada considerando uma profundidade de 60 cm. Referido manejo é aqui denominado "manejo tecnificado".

A curva característica de evapotranspiração da cultura do feijão-de-corda foi obtida através dos dados levantados por SAUNDERS et alii (1981), plotando-se na ordenada o uso consuntivo acumulado, em milímetros, e na abscissa o tempo acumulado de desenvolvimento da cultura, em dias (FIGURA 1).

A lâmina líquida (Yrr) a ser aplicada em cada irrigação foi obtida a partir da expressão:

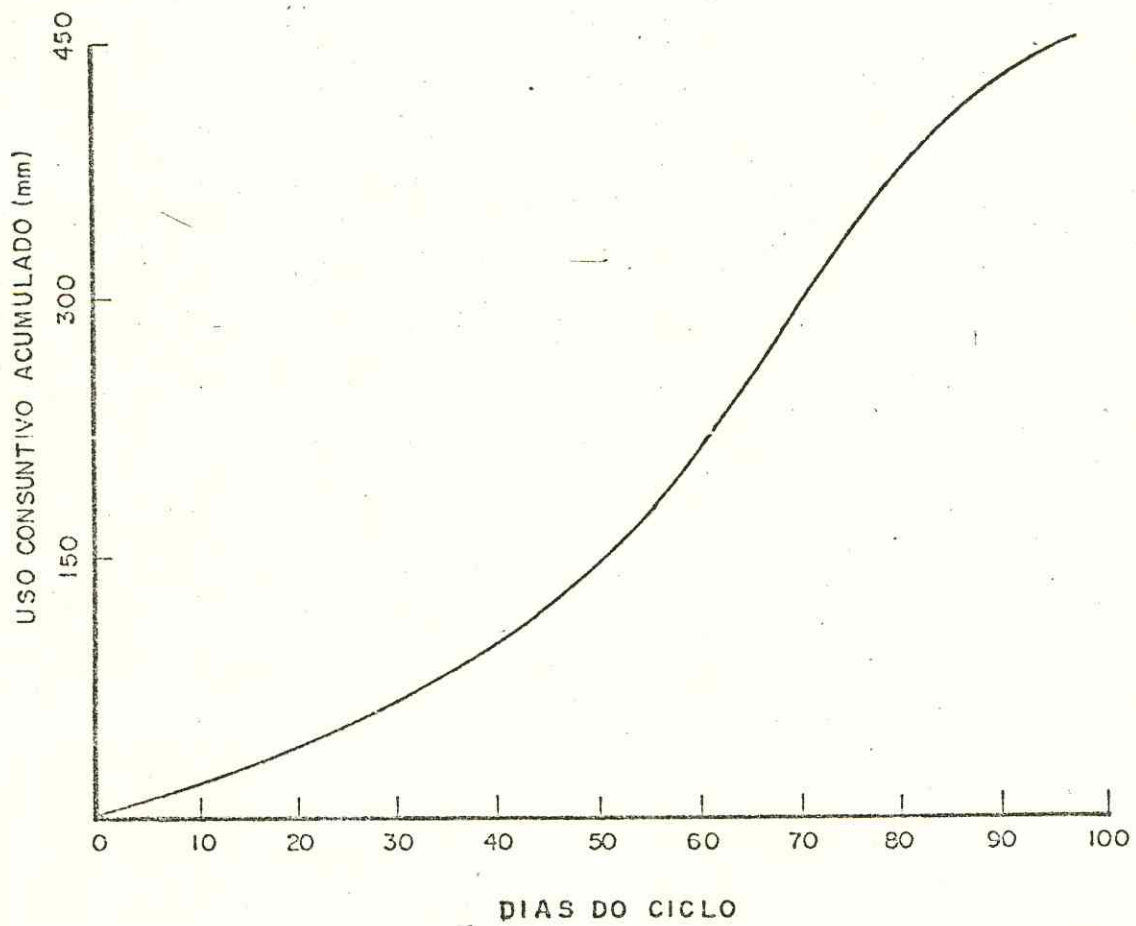


Fig.01 - CURVA DE USO CONSUNTIVO ACUMULADO DA  
CULTURA DO FEIJÃO (Vigna unguiculata (L) Walp)

$$Y_{rr} = \frac{(CC - PM)}{100} \times ds \times Pe \times f \quad (4)$$

sendo:  $Y_{rr}$  = lâmina líquida (lâmina real requerida), mm

CC = capacidade de campo (% em massa a 1/3 atm)

PM = ponto de murcha permanente (% em massa a 15 atm)

ds = densidade do solo, g/cm<sup>3</sup>

Pe = profundidade efetiva do sistema radicular, mm

f = fator cultural de consumo,  $0 < f < 1$

Convém salientar que a profundidade do sistema radicular utilizada para a cultura, operada com manejo convencional foi de 60 cm, e que as irrigações eram reiniciadas quando se consumia 35% de água disponível. Nas irrigações de ambos os sistemas foi adotada uma eficiência de 80%.

As TABELAS 3 e 4 apresentam o planejamento das irrigações efetuadas com os dois tipos de manejo, o tecnificado e o convencional. Maiores detalhes acerca do cálculo dos parâmetros de irrigação podem ser obtidos no ANEXO 1.

Para a determinação dos parâmetros de qualidade das irrigações (avaliação técnica), foram feitos testes de desempenho dos aspersores nas duas áreas, sendo 4 (quatro) na área AA<sub>2</sub> (manejo tecnificado) e 3 (três) na área CA<sub>2</sub> (manejo convencional). Os testes eram realizados com os dois aspersores centrais da linha lateral, quando esta funcionava na posição central da linha principal (FIGURAS 2 e 3).

Todas as irrigações foram realizadas no período noturno, portanto em condições de vento calmo ou praticamente

TABELA 3 - Planejamento das irrigações para a área de manejo tecnificado (Área AA<sub>2</sub>).

Profundidade (cm)	Irrigações	Lâmina Necessária para Attingir a CC (mm)	Lâmina de Reposição (mm)	T. de Irrigação (Horas)		Turno de Rega (Dias)	Tempo Acumulado (Dias)
				Por Posição	Total		
0 - 20	1 <sup>a</sup>	40		7,50	22,50	-	-
	2 <sup>a</sup>		14*	2,58	7,74	7	7
	3 <sup>a</sup>		14	2,58	7,74	7	14
0 - 40	4 <sup>a</sup>	41,28		7,75	23,25	7	21
	5 <sup>a</sup>		23,55*	4,42	13,26	8	29
	6 <sup>a</sup>		23,55	4,42	13,26	8	37
	7 <sup>a</sup>		23,55	4,42	13,26	6	43
0 - 60	8 <sup>a</sup>	38,10		7,17	21,51	6	49
	9 <sup>a</sup>		28,65*	5,33	16,00	5	54
	10 <sup>a</sup>		28,65	5,33	16,00	5	59
	11 <sup>a</sup>		28,65	5,33	16,00	4	63
	12 <sup>a</sup>		28,65*	5,33	16,00	4	67

(\*) Irrigações nas quais foram realizadas testes de desempenho nos aspersores.

TABELA 4 - Planejamento das irrigações para a área de manejo convencional (área CA<sub>2</sub>), considerando-se uma profundidade efetiva do sistema radicular de 60 cm.

Irrigações	Lâmina Real Requerida (1) (mm)	Tempo de Irrigação		Turno de Rega (Dias)	Tempo Acumulado (Dias)
		Por Posição	Total		
1 <sup>a</sup>	63,63 (2)	12,00	36,00	-	-
2 <sup>a</sup>	38,51 (3)	7,25	21,75	9	9
3 <sup>a</sup>	38,51	7,25	21,75	9	18
4 <sup>a</sup>	38,51 (3)	7,25	21,75	9	27
5 <sup>a</sup>	38,51	7,25	21,75	9	36
6 <sup>a</sup>	38,51 (3)	7,25	21,75	9	45
7 <sup>a</sup>	38,51	7,25	21,75	9	54
8 <sup>a</sup>	38,51	7,25	21,75	9	63

(1) Lâmina para suprir 35% da água disponível.

(2) Lâmina necessária para atingir a CC.

(3) Irrigações nas quais foram realizados testes de desempenho dos aspersores.

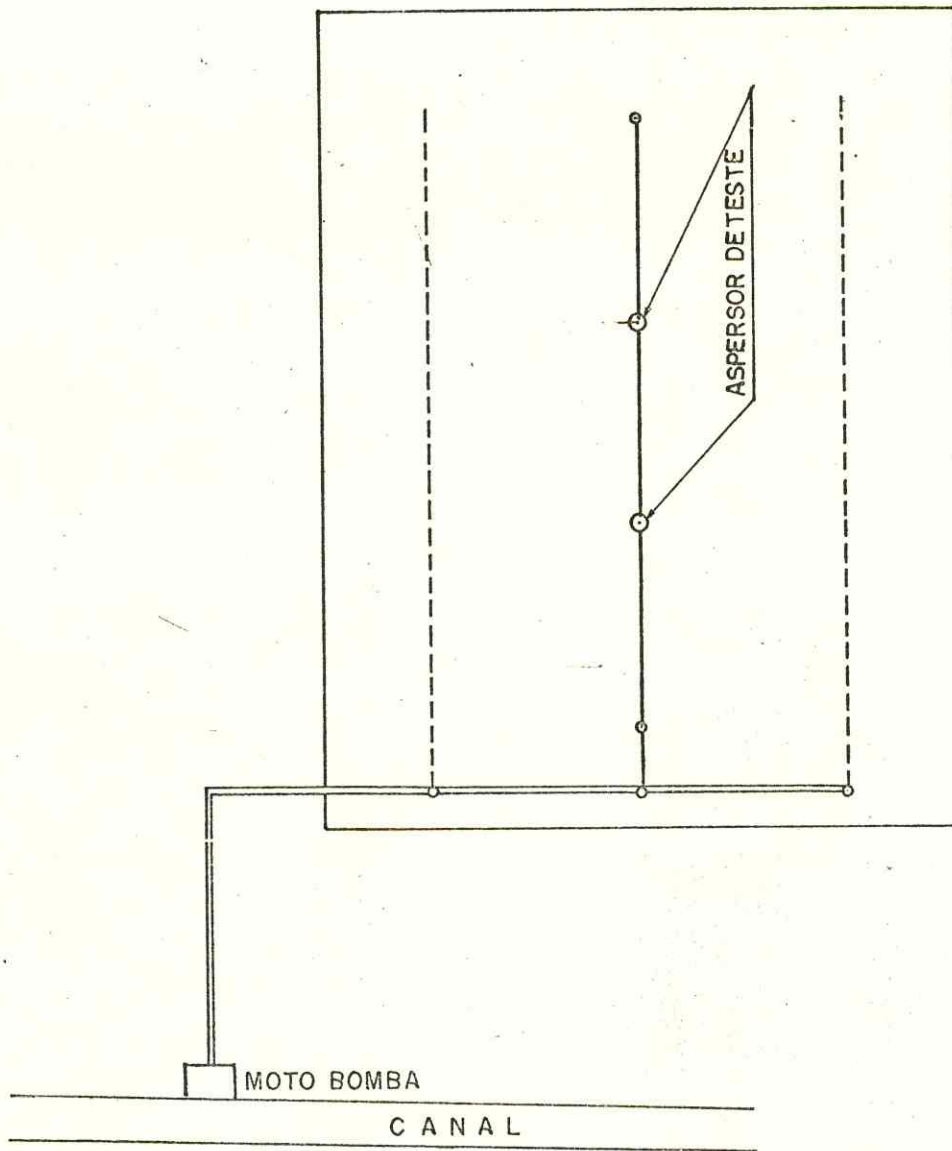


Fig. 02 — PLANTA ESQUEMÁTICA DE LOCALIZAÇÃO DOS ASPERSORES DE TESTE (ÁREA AA<sub>2</sub>)

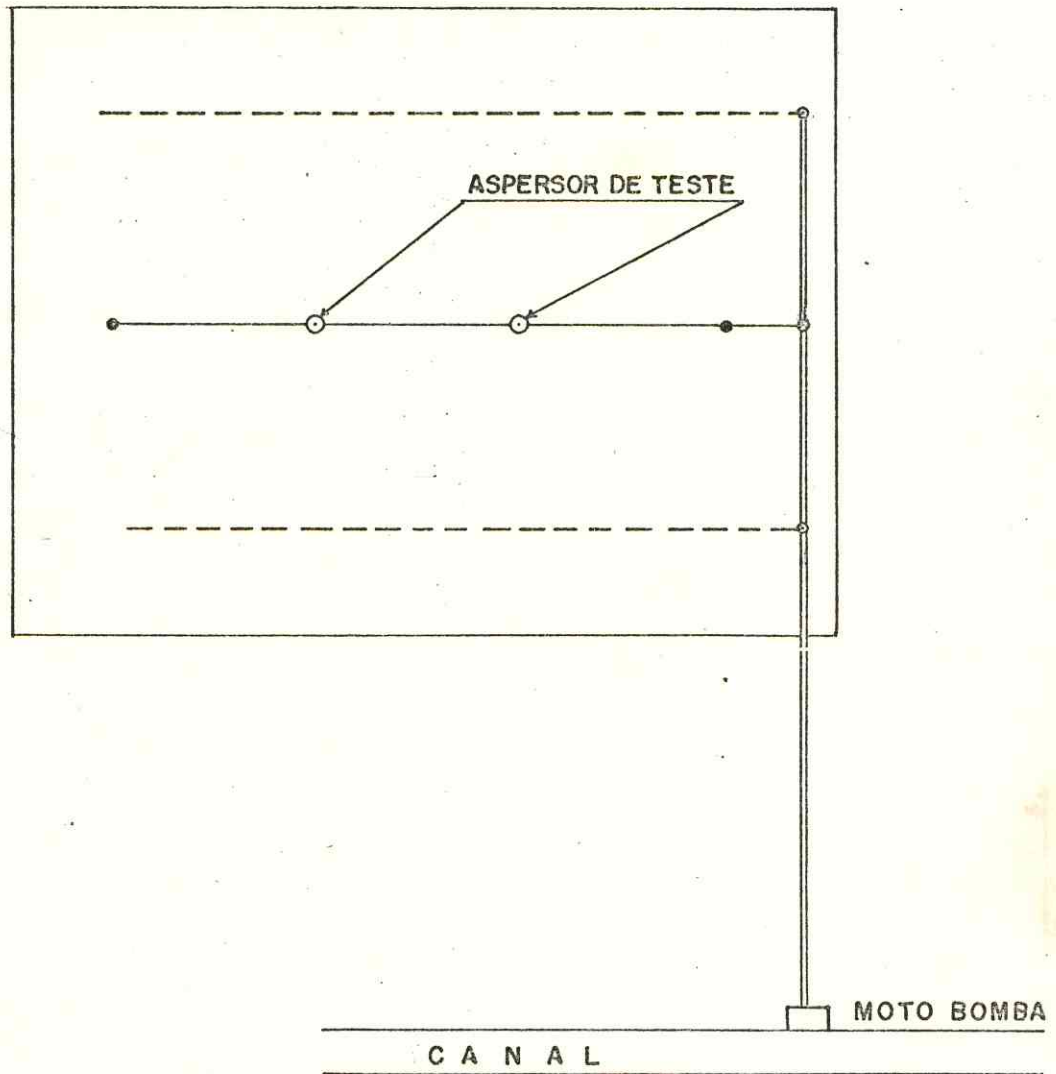


Fig. 03 — PLANTA ESQUEMÁTICA DE LOCALIZAÇÃO DOS ASPERSORES DE TESTES (ÁREA CA<sub>2</sub>)

sem vento. Daí porque os testes teriam que ser realizados nas mesmas condições para refletir a performance real das irrigações. Assim, os testes foram realizados ao amanhecer, entre 5:00 e 6:00 horas, horário em que a velocidade do vento apresenta-se muito baixa.

Em cada área de testes foram instalados 96 pluviômetros (latas vazias de óleo lubrificante de 1 litro), espaçados de 3 x 3 m, e assentados em suporte de madeira com 35 cm de altura do solo (FIGURA 4).

Durante a realização dos testes, todos com duração de 1 (uma) hora, foram feitas as seguintes determinações: vazão dos aspersores - medida pelo processo direto com auxílio de uma mangueira de 1,5" x 2 m, de um balde de 20 l de capacidade e um cronômetro. A vazão era então obtida através da média entre duas medições; pressão de serviço dos aspersores determinada com o auxílio de manômetro acoplado a um tubo de pitot, antes e durante a realização dos testes para assegurar a pressão constante (2,5 atm); velocidade de rotação dos aspersores - determinada nos quatro quadrantes e círculo, com auxílio de um cronômetro.

A velocidade e direção do vento eram determinadas com o auxílio de um conjunto anemômetro - catavento, no qual se procediam leituras de 10 em 10 minutos durante os testes. Os valores obtidos encontram-se no ANEXO 2.

No início de cada teste tomava-se um recipiente contendo 50 ml de água e ao final media-se novamente seu volume através de uma proveta graduada; a quantidade de água evaporada durante o teste era obtida pela diferença.

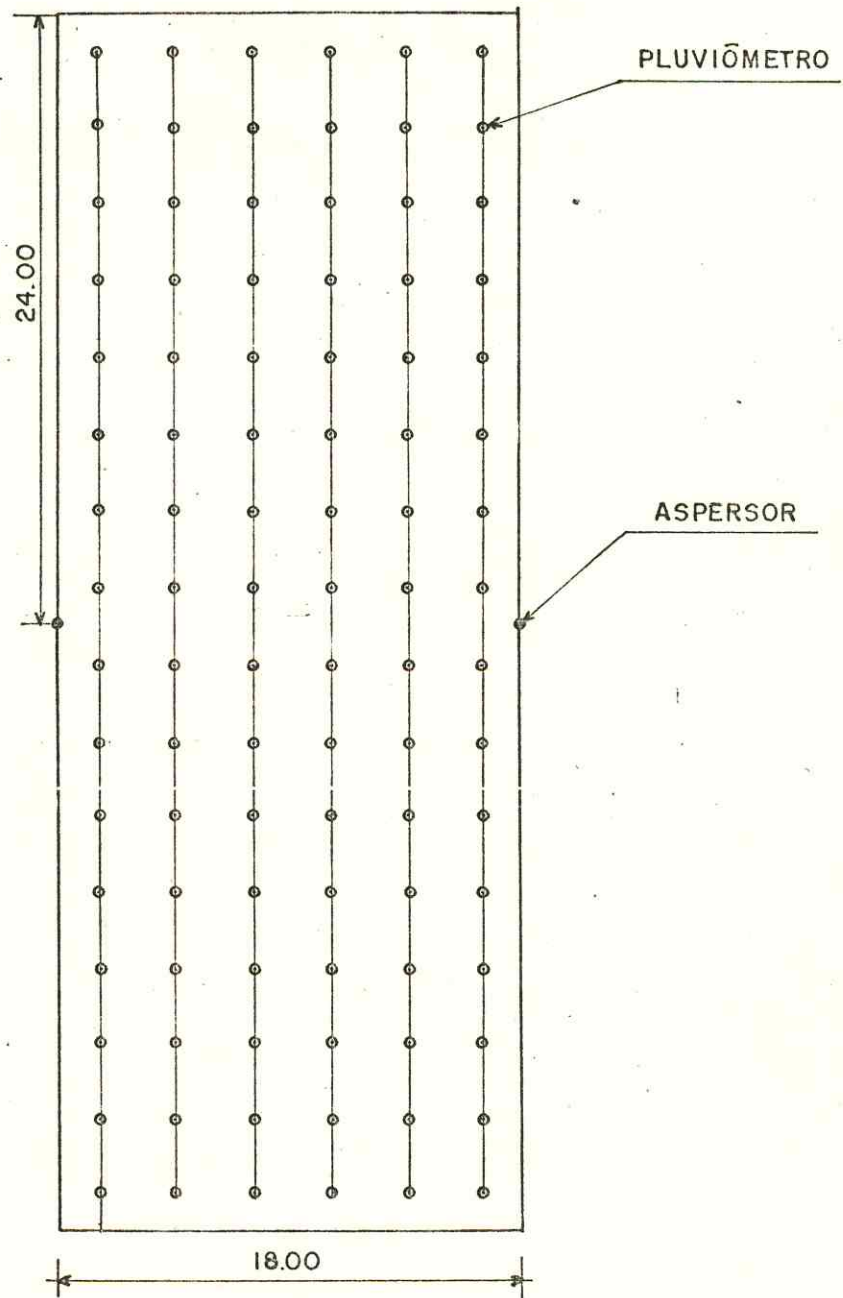


Fig. 04 = PLANTA ESQUEMÁTICA DA MALHA DE PLUVIÔMETRO  
NA ÁREA DE TESTE.

Ao término do teste era feita a medição dos volumes coletados nos pluviômetros (latas de 1 litro) com o auxílio de uma proveta graduada. Igualmente, os resultados constam no ANEXO 2.

Todas as operações necessárias ao desenvolvimento dos trabalhos, foram anotadas para fins de avaliação econômica de ambos os experimentos.

### 3.3 - Determinação dos parâmetros de qualidade da irrigação - avaliação técnica

A qualidade de uma irrigação é avaliada através do conhecimento do padrão de uniformidade e eficiência do sistema, que são representados pelos valores dos parâmetros de qualidade da irrigação por aspersão: eficiência de aplicação ( $E_a$ ) e perdas por percolação profunda ( $D_p$ ) e ainda os coeficientes de uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) e HART (CUH) que podem ser calculadas pelas equações (1) e (3).

Para a determinação dos parâmetros de qualidade ( $E_a$ ,  $E_s$  e  $D_p$ ) podem ser utilizados indistintamente os modelos linear e normal, sendo o primeiro mais simples e prático (NOGUEIRA, 1987). Com efeito, no presente caso será utilizado o modelo linear de KARMELI et alii (1978), citados por RIBEIRO (1982); NOGUEIRA (1987), que sugeriram um modelo baseado na curva de frequência adimensional da lâmina de infiltração ( $Y$ ) e na fração da área irrigada ( $X$ ), expressa pela função

linear:

$$Y = a + bx$$

onde:  $Y = \frac{Y_i}{\bar{Y}}$  = lâmina adimensional

$Y_i$  = lâmina no coletor  $i$  (mm)

$X = \frac{A_i}{A_t}$  = fração da área irrigada

$A_i$  = área referente ao coletor  $i$

$A_t$  = área total dos coletores

$a$  e  $b$  = coeficiente da função linear

A partir do referido modelo, mostrado esquematicamente na FIGURA 5, derivam-se expressões para determinação das eficiências e perdas d'água por percolação.

O modelo linear utiliza variáveis adimensionais, o que implica na obtenção da lâmina adimensional requerida ( $Y_r$ ) através da expressão:

$$Y_r = \frac{Y_{rr}}{\bar{Y}}$$

onde:  $Y_{rr}$  = lâmina real de água necessária (mm)

$\bar{Y}$  = lâmina média d'água aplicada (mm)

A lâmina máxima ( $Y_{max}$ ) e a lâmina mínima ( $Y_{min}$ ) adimensional infiltrada, podem ser obtidas através das expressões:

$$Y_{max} = 1 + 0,5 b$$

(7)

$$Y_{\min} = 1 - 0,5 b \quad (8)$$

Os volumes d eficite e útil podem ser obtidos pelas expressões:

$$V_d = \frac{(0,5 b - \Delta)^2}{2b} \quad (9)$$

$$V_u = 1 - \Delta - V_d \quad (10)$$

em que:  $\tilde{\Delta}$  = diferença entre a lâmina média aplicada  $(\bar{Y}-1)$   
e a lâmina adimensional requerida ( $Y_r$ ):

$$\Delta = 1 - Y_r \quad (11)$$

Através dos valores assumidos pela lâmina adimensional requerida ( $Y_r$ ), e considerando que não há escoamento superficial, pode-se chegar a 5 casos distintos, que representam os valores dos parâmetros de qualidade da irriga o, como se verifica a seguir:

Caso 1 - a lâmina adimensional requerida   maior que a lâmina máxima ( $Y_r > Y_{\max}$ , FIGURA 6). Os valores s o:

$$E_a = 1,0 \quad (12)$$

$$E_s = \frac{1.0}{Y_r} \quad (13)$$

$$D_p = 0 \quad (14)$$

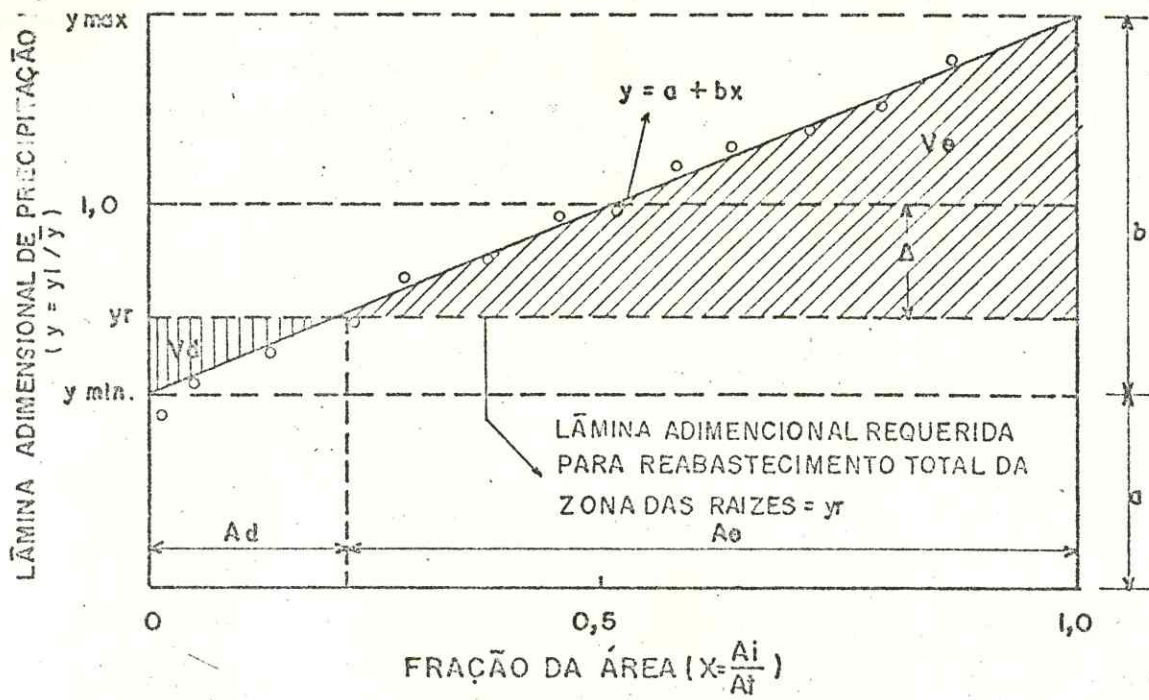


Fig. 05 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO MODELO LINEAR —  
 DISTRIBUIÇÃO ADIMENSIONAL ACUMULADA (APÓS NOGUEIRA, 1987)

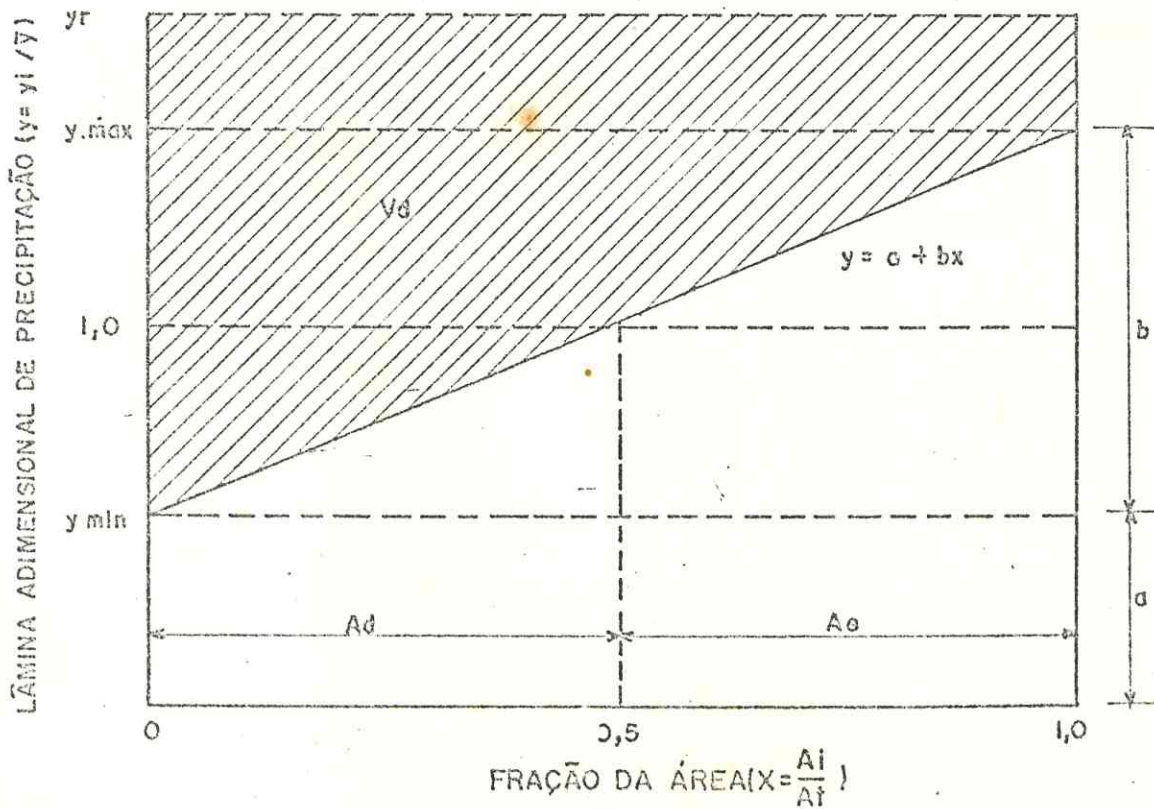


Fig. 06 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO MODELO LINEAR PARA  
 O CASO 1 ( $y_r > y_{max}$ .)

Observa-se, neste caso, que o abastecimento da zona radicular das plantas é inadequado, uma vez que a eficiência de armazenamento é de pequena magnitude.

Caso 2 - a lâmina adimensional requerida é maior que 1,0 e menor ou igual à lâmina máxima ( $1,0 < Y_r < Y_{max}$ , FIGURA 7).

O abastecimento do sistema radicular é melhor em relação ao Caso 1 e evidentemente a eficiência de armazenamento. Os cálculos se efetuam através das expressões seguintes:

$$E_a = 1 - \left| \left( \frac{1 + \frac{b}{2} - Y_r}{2} \right) \left( 1 - \frac{Y_r - 1 + \frac{b}{2}}{b} \right) \right| \quad (15)$$

$$E_s = 1 - \left| \frac{Y_r - \left( 1 - \frac{b}{2} \right)^2}{2bY_r} \right| \quad (16)$$

$$D_p = \left( \frac{1 + \frac{b}{2} - Y_r}{2} \right) \left( 1 - \frac{Y_r - 1 + \frac{b}{2}}{b} \right) \quad (17)$$

Caso 3 - a lâmina adimensional requerida é igual a 1,0 ( $Y_r = 1,0$ , FIGURA 8).

Os valores da eficiência de aplicação ( $E_a$ ), eficiência de armazenamento ( $E_s$ ) e perdas por percolação profunda são médios, e dependentes do valor de  $b$ , como pode ser verificado através das expressões seguintes:

$$E_a = 1 - \frac{b}{8} \quad (18)$$

LÂMINA ADMENSIONAL DE PRECIPITAÇÃO ( $y = y_i / \bar{y}$ )

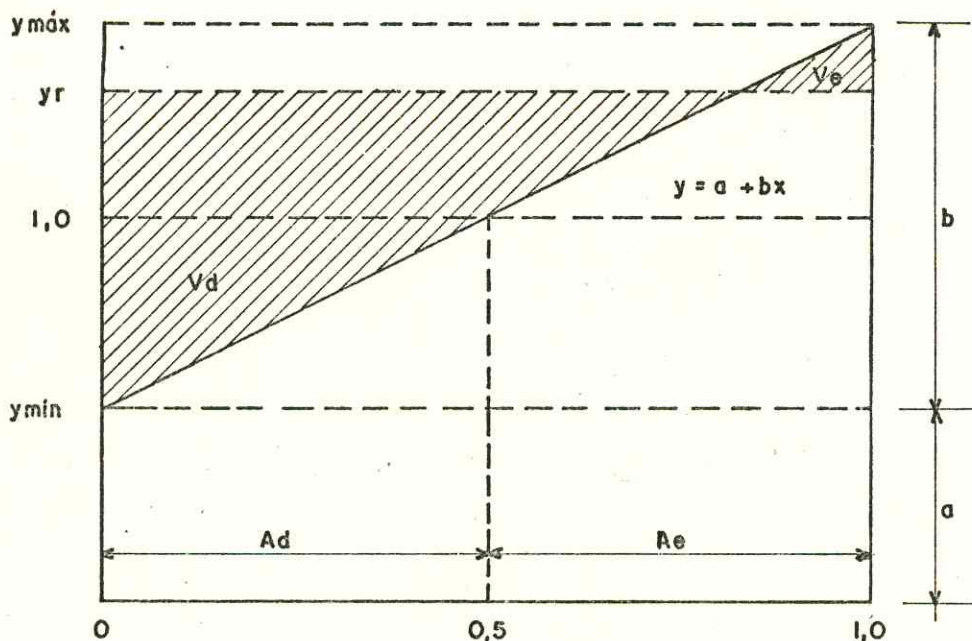


Fig.07 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO MODELO LINEAR PARA O CASO 2 ( $1,0 < y_r \leq y_{máx.}$ )

LÂMINA ADMENSIONAL DE PRECIPITAÇÃO ( $y = y_i / \bar{y}$ )

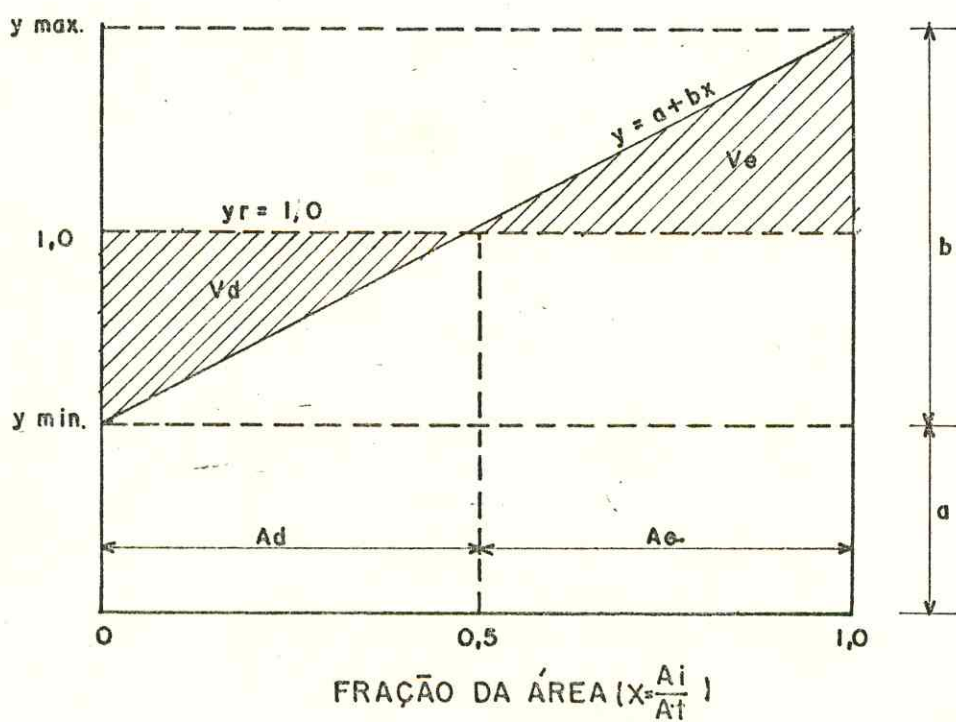


Fig.06 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO MODELO LINEAR PARA O CASO 3 ( $y_r = 1,0$ )

$$E_s = 1 - \frac{b}{8} \quad (19)$$

$$D_p = \frac{b}{8} \quad (20)$$

Caso 4 - a lâmina adimensional requerida é menor que 1,0 e maior ou igual à lâmina mínima ( $Y_{min} \leq Y_r < 1,0$ , FIGURA 9).

Os cálculos são efetuados através das equações:

$$E_a = Y_r - \frac{(Y_r - 1 + \frac{b}{2})^2}{2b} \quad (21)$$

$$E_s = 1 - \frac{(Y_r - 1,0 + \frac{b}{2})^2}{2b Y_r} \quad (22)$$

$$D_p = 1 - E_a \quad (23)$$

Caso 5 - a lâmina adimensional requerida é menor que a lâmina mínima ( $Y_r < Y_{min}$ , FIGURA 10).

O reabastecimento do sistema radicular é efetuado por completo, proporcionando valor máximo da eficiência de armazenamento ( $E_s = 1,0$ ). As perdas são consideradas grandes, enquanto o valor da eficiência de aplicação é bem reduzida. Seus valores são obtidos através das equações:

$$E_a = \frac{Y_r}{1,0} = Y_r \quad (24)$$

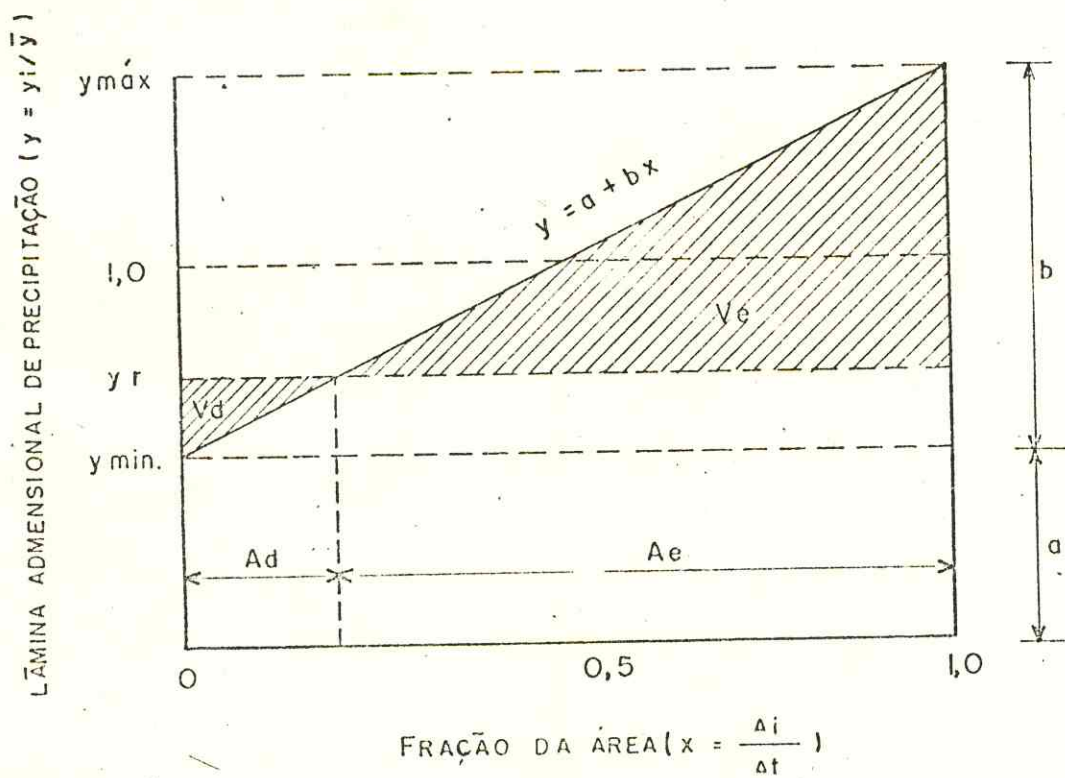


Fig. 09 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO MODELO LINEAR PARA  
O CASO 4 ( $y_{\min.} \leq y_r \leq 1,0$ )

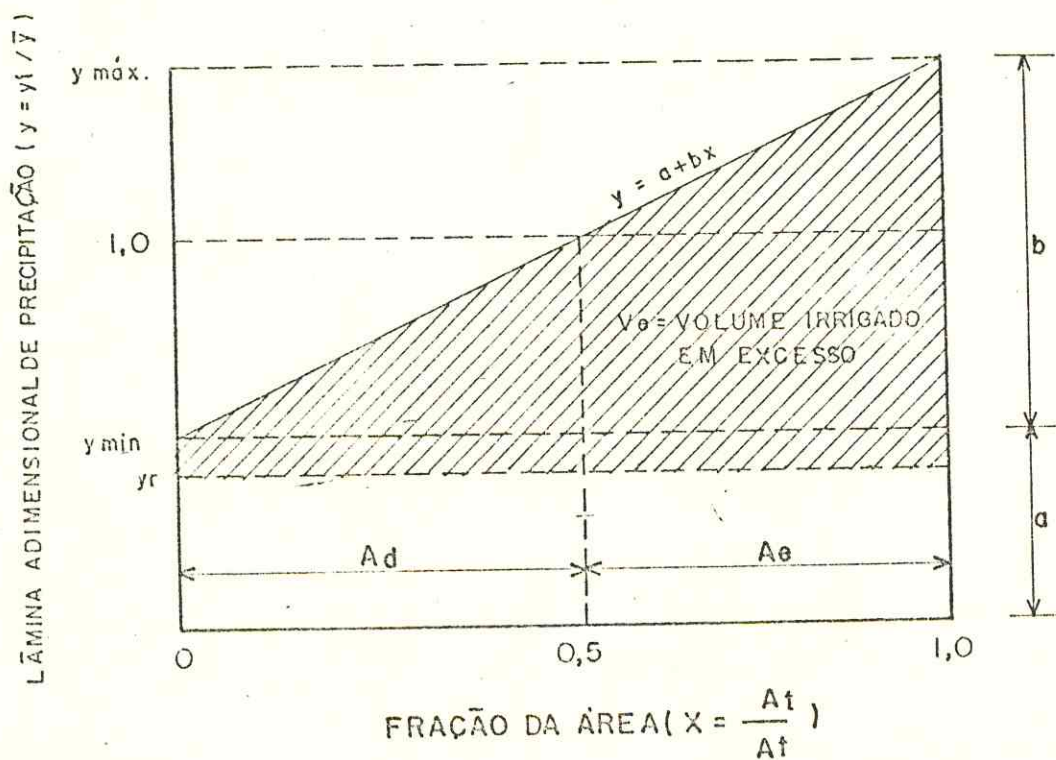


Fig. 10 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO MODELO LINEAR PARA  
O CASO 5 ( $y_r < y_{\min}$ )

$$D_p = 1,0 - E_a = 1 - Y_r \quad (25)$$

### 3.4 - Avaliação econômica

Para avaliar economicamente os experimentos foram empregados instrumentos de análise que permitiram medir a rentabilidade da cultura em cada experimento com o propósito de se comparar os dois tipos de manejo.

Os indicadores econômicos foram estabelecidos levando-se em conta que os trabalhos resumiram-se à produção de uma única safra e que o equipamento de irrigação foi utilizado num período de apenas 1/3 do ano. Assim, foram utilizados o Lucro, Retorno ao Trabalho e Retorno à Água, como parâmetros de medições econômicas.

O Lucro é o resultado obtido quando se deduzem os custos da receita:  $L = \text{receitas} - \text{custos}$ .

O Retorno ao Trabalho representa a quantia possível de se remunerar a mão-de-obra utilizada. É assim expresso:

$$R_t = \frac{\text{Lucro} + \text{Custo do Trabalho}}{\text{N}^\circ \text{ de Homens} - \text{Dia}} \quad (26)$$

O Retorno à Água representa o valor que se pode remunerar cada  $m^3$  de água utilizada. É expresso pela equação:

$$R_a = \frac{\text{Lucro} + \text{Custo da Água}}{\text{Volume Total D'Água Gasto (m}^3\text{)}} \quad (27)$$

A estrutura dos custos e receitas foi estabelecida com base nas considerações já procedidas acima, ou seja, produção de uma única safra; equipamento de irrigação, composto de tubulações, conexões, aspersores e grupo moto-bomba, utilizado durante apenas 1/3 do ano. Convém acrescentar que o uso do trator e implementos agrícolas foi feito na forma de aluguel. Todos os preços referem-se a dezembro de 1987.

Dentro dessa finalidade, os custos, classificados como fixos e variáveis, foram assim compostos:

(a) Custos fixos

i) Depreciação do equipamento de irrigação

$$D = \frac{C_i - C_f}{t} \quad (28)$$

onde:

D = depreciação em Cz\$/safra

C<sub>i</sub> = custo inicial do equipamento

C<sub>f</sub> = custo final do equipamento

t = tempo útil do equipamento

ii) Jurões (7% a.a.)

$$J = 0,07 \times \frac{C}{2} \quad (29)$$

onde:

J = juros em Cz\$/safra

C = valor do equipamento de irrigação em Cz\$/3

iii) Manutenção (2% do valor inicial do equipamento)

$$= 2\% \times C \quad (30)$$

(b) Custos variáveis

Nestes custos enquadram-se os seguintes itens:

- (a) aluguel de tratores e implementos agrícolas;
- (b) insumos (sementes, adubos e defensivos);
- (c) mão-de-obra;
- (d) combustível e lubrificantes (óleo diesel e óleo lubrificantes para o grupo moto-bomba);
- (e) custo da água que se calcula multiplicando-se o preço do m<sup>3</sup> de água (Cz\$ 0,07) pelo volume gasto em m<sup>3</sup>;
- (f) beneficiamento do produto, que se obtém multiplicando-se o preço do kg do produto pela renda do equipamento (3% do beneficiado).

As receitas, ou renda bruta, estão representadas pelas vendas do feijão, sendo assim calculadas:

$$\text{Receitas} = \text{Produção} \times \text{preço (referente a dezembro/87-Cz\$ 55,00)} \quad (31)$$

## 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 - Avaliação técnica

#### 4.1.1 - Parâmetros de avaliação da performance dos sistemas de irrigação

Para obtenção dos parâmetros de qualidade da irrigação dos dois sistemas, foi aplicado o modelo linear de KARMELI et alii (1978), citado por RIBEIRO (1982). Os dados de campo juntamente com a sùmula dos resultados da avaliação, dos 7 (sete) testes realizados, encontram-se no ANEXO 2.

A partir dos dados de precipitação dos aspersores ensaiados e das superposições efetuadas chegou-se aos resultados apresentados na TABELA 5. Nesta tabela são mostrados os parâmetros da performance da irrigação, ou seja, coeficientes de uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC, %), e de HART (CUH, %), eficiência de aplicação (Ea, %), eficiência de armazenamento (Es, %) e perdas por percolação profunda (Dp, %). Contém ainda, dados de lâmina real requerida (Yrr), velocidade e direção do vento e coeficiente de variação (CV).

Observa-se, na referida TABELA 5, que os valores dos CUCs %, com médias de 75,10% (valores entre 69,36% e 82,38% área AA<sub>2</sub>) e 69,77% (valores entre 69,02 e 70,26%, área CA<sub>2</sub>), indicam que os sistemas funcionaram com baixa uniformidade

TABELA 5 - Parâmetros de avaliação da performance dos sistemas de irrigação - ramal móvel; aspersores ZE-30 (bocal 6,0 mm, pressão de serviço 2,5 atm, vazão 0,60 l/seg, espaçamento 18 x 18 m).

Horário	Teste			Vento		Parâmetros de Avaliação - Mod. Linear						
	Área/Sub-Área	nº	Yrr	Vel (km/h)	Direção	Ea	Es	Dp	CUC	CUH	CV	
(5:30-6:30 h)		1	14 mm	1,7	NO	70,85	99,72	29,15	82,38	83,76	20,35	
(5:22-6:22 h)		2	23,55 mm	0,0	SO	78,13	89,37	21,87	69,36	71,86	35,27	
	AA <sub>2</sub> /manejo											
(5:35-6:35 h)	tecnificado	3	28,65 mm	0,7	NE	82,11	91,39	17,89	75,32	76,62	29,30	
(5:52-6:52 h)		4	28,65 mm	2,9	O	80,70	90,41	19,30	72,98	74,78	31,60	
						$\bar{X}$	77,95	92,72	22,05	75,01	76,76	29,13
(5:40-6:40 h)		1	38,55 mm	1,0	S	73,98	91,54	26,02	70,04	72,06	35,01	
	CA <sub>2</sub> /manejo											
(5:35-6:35 h)	convencional	2	38,55 mm	0,7	S	75,52	88,99	24,48	69,02	29,87	37,75	
(5:14-6:14 h)		3	38,55 mm	5,7	NO	75,58	89,61	24,42	70,26	70,20	37,35	
						$\bar{X}$	75,03	90,05	24,97	69,77	70,11	36,70

de distribuição, uma vez que o valor mínimo recomendável para o coeficiente de uniformidade é de 80% ( $CUC \geq 80\%$ ). Dos 7 (sete) testes realizados apenas 1 (um) atingiu este valor (teste nº 1, área  $AA_2$  - 82,38%). Desta forma, admite-se que o desempenho dos dois sistemas não foi satisfatório do ponto de vista de uniformidade, pelo que se faz necessária a aplicação de alguma técnica de manejo no sentido de elevar a qualidade da distribuição de água.

Quanto a eficiência de aplicação ( $Ea$ ), observa-se que os valores variaram entre 70,85 a 82,11% com média de 77,95% (área  $AA_2$ , "manejo tecnificado") e 73,98 a 75,58%, média de 75% (área  $CA_2$ , "manejo convencional"). Estes dados demonstram que a eficiência de aplicação dos dois sistemas é satisfatória ( $60 \leq Ea < 80\%$ ), conforme a classificação de HART et alii (1979). Com base ainda na citada classificação, para a eficiência de armazenamento ( $Es$ ), com valores acima de 89% e médias de 92,72% (área  $AA_2$ ) e 90,05% (área  $CA_2$ ), o desempenho foi considerado excelente ( $Es \geq 80\%$ ). Enquanto isso, as perdas por percolação profunda ( $Dp$ ), com valores que variaram de 19,30% a 29,15% e média de 22,05% (área  $AA_2$ ) e, 24,42 a 26,02%, média de 24,97 (área  $CA_2$ ), são consideradas satisfatórias ( $20\% \leq Dp < 50\%$ ).

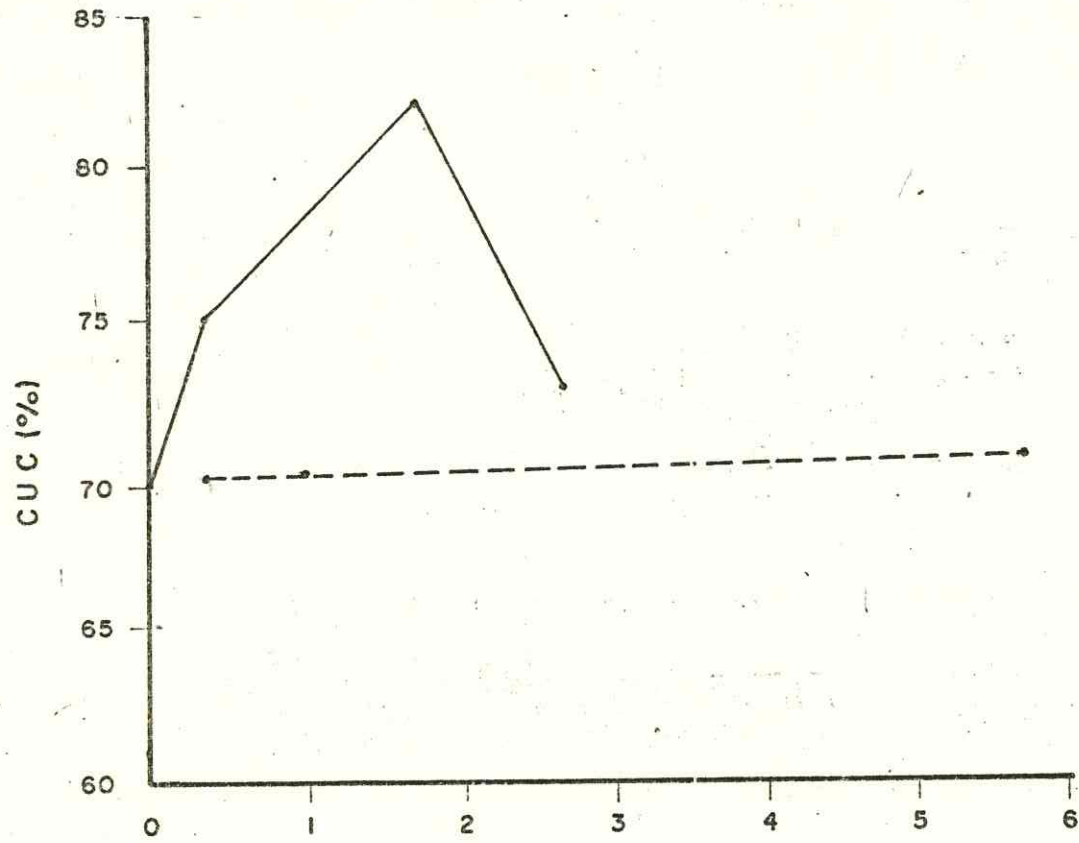
#### 4.1.2 - Efeito dos fatores climáticos sobre os parâmetros de qualidade da irrigação

Os principais fatores climáticos que influenciam a eficiência de aplicação e a uniformidade são, o vento, a temperatura e a umidade relativa. Dentre estes, o vento é o fator climático que proporciona maiores variações na uniformidade de aplicação de água (LOPEZ, 1972, citado por RIBEIRO, 1982).

Todas as irrigações do presente estudo foram efetuadas no período entre 22:00 hs e 7:00 hs, horário em que as condições climáticas mais favorecem à irrigação por aspersão, apresentando normalmente baixa velocidade do vento, como se observa na TABELA 5.

Na referida tabela, verifica-se que os valores de velocidade do vento, com médias de 1,32 km/h (área AA<sub>2</sub>) e 2,47 km/h (área CA<sub>2</sub>), que representam condições de vento calmo, certamente não exerceram nenhuma influência sobre a performance da irrigação.

A FIGURA 11 mostra a relação da uniformidade de distribuição da água com a velocidade do vento. Observa-se, com referência ao manejo tecnificado, uma variação de expressiva magnitude no CUC, enquanto a velocidade do vento além de apresentar pequena variação, possui valores considerados baixos como foi dito acima. Ressalte-se que, o menor valor do CUC (teste nº 2) ocorreu quando se registrou ausência de vento 0,0 km/h. Por outro lado, a maior amplitude de valores da



VELOCIDADE DO VENTO (km/h)

— M. TECNIFICADO  
 - - - M. CONVENCIONAL

Fig. 11 — Influência da Velocidade do vento nos valores do Coeficiente de Uniformidade (CUC) para os dois sistemas de Irrigação.

velocidade do vento ocorreu durante os testes efetuados com o sistema de manejo convencional. O CUC, no entanto, praticamente não apresentou variação entre testes. Registrou, por sua vez, valores baixos (CUC < 80%), muito embora as condições de vento fossem favoráveis (baixa velocidade).

Estes resultados demonstram claramente que o fator velocidade do vento não influenciou na performance técnica dos sistemas de irrigação por aspersão estudados.

A temperatura e a umidade relativa, outros fatores alteradores das eficiências do sistema de aspersão, uma vez que eles contribuem diretamente nas perdas de água por evaporação, igualmente não exerceram influência sobre o desempenho da irrigação, haja vista as condições climáticas favoráveis à irrigação por aspersão no horário em que foram realizados os testes. A umidade relativa é diretamente relacionada com a temperatura. Ao amanhecer, entre 5:00 hs e 6:00 hs (horário dos testes) a temperatura é baixa e, em consequência, a demanda evaporativa do ar é muito baixa, o ar normalmente encontra-se saturado, logo, a umidade relativa é alta, o que implica em baixa evaporação.

Dessa forma, considerando as condições de clima em que se desenvolveram as irrigações, pode-se afirmar que os fatores climáticos não exerceram influência de modo a provocar alterações sensíveis nos resultados da performance dos dois sistemas.

#### 4.1.3 - Efeito dos fatores não climáticos sobre os parâmetros de qualidade da irrigação

MOLENAR et alii (1945), citados por BAGLEY & CRIDDLE (1955), FRY & GRAY (1969) e NOGUEIRA (1987), informaram que os fatores não climáticos tais como a pressão de serviço, altura da haste e o diâmetro dos bocais do aspersor, bem como outros fatores como o espaçamento e a velocidade de rotação dos aspersores, influenciam a performance da irrigação mas que são passíveis de controle.

Nos sistemas em estudo foram mantidos constantes o espaçamento (18 x 18 m), pressão de serviço (2,5 atm) e o diâmetro dos bocais (6,0 mm). Com isto, os aspersores foram operados segundo as especificações do fabricante. A altura da haste também foi mantida constante para todos os aspersores (1,0 m).

Para um bom desempenho dos aspersores a velocidade de rotação deve ser uniforme, e para aspersores de baixa revolução a velocidade de rotação deve se situar na faixa de 0,5 a 2 rpm (BERNARDO, 1982).

A alta velocidade de rotação acarreta uma redução na área coberta pelo aspersor, proporcionando um aumento na taxa de aplicação real. Aspersores já usados apresentam maior variação na taxa de rotação do que os novos e, numa mesma linha, há uma grande diferença na performance dos aspersores (CHRISTIANSEN, 1942). Quase todas as médias de rotações dos aspersores de testes ultrapassaram a marca de 2 rpm (TABELA 6).

TABELA 6 - Tempo de rotação e velocidade de rotação dos aspersores (ZE-30).

Teste		Tempo de Rotação					Velocidade de Rotação (rpm)			
Área/Sub-Área	Nº/Aspersor	1º Q	2º Q	3º Q	4º Q	Circ.	Valores	Média		
AA <sub>2</sub> /Manejo Tecnificado	1	1	5	6	5	6	22	2,73	2,43	
		2	6	6	6	7	27	2,22		
	2	1	5,5	6	6,5	7	23,5	2,60	2,36	
		2	7,2	7,5	7,5	6,8	28,3	2,12		
	3	1	7	6,5	6,2	6,2	24,6	2,44	2,92	
		2	4,4	4,5	4,3	4,3	17,7	3,39		
	4	1	5,8	5,5	5,9	5,5	23,1	2,60	2,77	
		2	4,8	5,2	4,9	4,7	20,4	2,94		
	CA <sub>2</sub> /Manejo Convencional	1	1	7	8	7	7	31	1,94	1,85
			2	8	8	9	8	34	1,76	
2		1	7	7,1	6,5	7	28,3	2,12	2,10	
		2	7,8	7,2	6,8	7,5	28,3	2,08		
3		1	11	12	10	9,9	44,1	1,36	2,08	
		2	5	6,1	5,9	5,6	21,5	2,79		

Observa-se que em determinados testes ocorrem variações significativas entre as taxas de rotações dos aspersores de uma mesma linha de teste, o que pode ser atribuído à condição de aspersores já usados.

As eficiências de aplicação (Es) e armazenamento (Es) e as perdas por percolação profunda (Dp), dependem diretamente da lâmina requerida (Yr) e da diferença entre as lâminas máxima e mínima coletadas, conforme o modelo linear. Como a diferença de rotação do aspersor provoca uma variação na taxa de aplicação real, os valores de lâmina máxima e mínima coletadas sofrem variações, alterando, dessa maneira, as eficiências e perdas por percolação.

O aumento da taxa de aplicação real, motivado pela redução da área coberta (provocada pela alta velocidade de rotação do aspersor), reduz o padrão de distribuição da irrigação. Os baixos valores dos CUCs, apresentados pelos dois sistemas, com média de 75,01% (área AA<sub>2</sub>) e 69,77% (área CA<sub>2</sub>) e que reflete um baixo padrão de distribuição das irrigações efetuadas, podem ser atribuídos à velocidade de rotação dos aspersores que em quase todos os testes ultrapassaram a 2 rpm, bem como à variação ocorrida na taxa de rotação dos aspersores de testes.

A TABELA 5 mostra que tanto o padrão de distribuição quanto as eficiências do sistema da área CA<sub>2</sub>, apresentam praticamente a mesma performance ao longo dos 3 (três) testes. Observa-se que o coeficiente de variação (CV) apresenta valores entre 35,01% e 37,35%, o que reflete a pequena variação ocorrida entre os parâmetros que representam a qualidade da

irrigação. Isto pode ser atribuído à pequena variação nas medidas de rotação dos aspersores de testes (TABELA 6).

Com referência aos parâmetros de qualidade da irrigação da área AA<sub>2</sub> (manejo tecnificado), notam-se variações com certa magnitude entre os testes realizados. Os coeficientes de variação (CV) apresentam valores entre 20,35% e 35,27%, o que demonstra a diferença de qualidade das irrigações efetuadas. Esta diferença pode estar relacionada com a variação entre as médias de rotação dos aspersores, as quais, nos testes da área AA<sub>2</sub>, apresentaram maiores variações na taxa de rotação, como se pode verificar na TABELA 6.

Uma outra razão para explicar as diferenças entre os resultados dos testes, envolve as incertezas relacionadas ao método experimental. Trata-se das imprecisões cometidas durante o processo de medição, tais como o do volume de água coletada, da vazão, pressão, etc. As imprecisões nestas medidas, que são inevitáveis, contribuem para a variação verificada entre os testes.

A FIGURA 12 mostra a variação da uniformidade de distribuição, representada pelo CUC, relacionada ao coeficiente de variação (CV). Observa-se que a relação é negativa em se tratando do sistema de manejo tecnificado, ou seja, para valores crescentes de CV correspondem valores decrescentes do CUC. No sistema com manejo convencional a variação do CUC foi de pequena magnitude, o mesmo ocorrendo com o coeficiente de variação (CV), o que demonstra mais uma vez a relação existente entre os dois parâmetros. Levando-se em conta que a variabilidade entre os testes pode ser atribuída ao proces

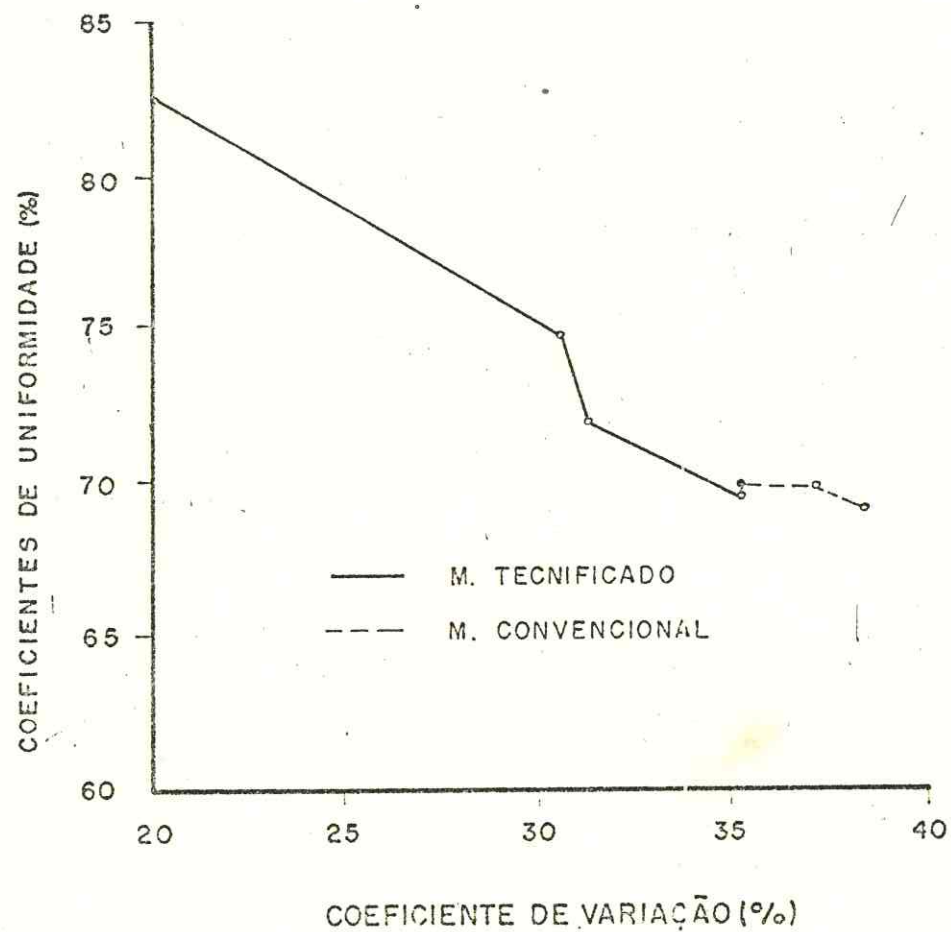


Fig.12 — Relação entre o coeficiente de uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) e o Coeficiente de Variação (CV) para os dois tipos de manejo dos sistemas de irrigação por aspersão.

so de medição, torna-se impossível identificar pequenas diferenças no desempenho dos aspersores, com base em um número diminuto de ensaios (SOLOMON, 1979).

#### 4.1.4 - Comportamento dos parâmetros de qualidade da irrigação relacionados à mudança de lâmina requerida

A avaliação dos testes efetuados (Ver ANEXO 2), utilizando-se o modelo linear de KARMELI, que tem por base os valores assumidos pela lâmina adimensional requerida ( $Y_r$ ), classificou os testes, concernentes aos dois sistemas, no Caso 4 do referido modelo linear, ou seja, aquele em que a lâmina adimensional requerida é menor que 1 e maior ou igual à lâmina mínima.

Analisando a TABELA 5, observa-se que a eficiência de aplicação ( $E_a$ ) (área  $AA_2$  - "manejo tecnificado") aumenta à medida que a lâmina real requerida ( $Y_{rr}$ ) aumenta  $Y_r = \frac{Y_{rr}}{\bar{Y}}$ , onde  $\bar{Y}$  é a lâmina média coletada. Por outro lado, a eficiência de armazenamento ( $E_s$ ) e as perdas por percolação profunda ( $D_p$ ) diminuem com o aumento de  $Y_{rr}$ . Com efeito, o Caso 4 em questão, mostra, através das fórmulas de cálculo das eficiências e perdas, a variação dos parâmetros  $E_a$ ,  $E_s$  e  $D_p$  em função dos valores assumidos pela lâmina adimensional requerida ( $Y_r$ ) (Ver metodologia na descrição de Materiais e Métodos). As fórmulas de cálculo demonstram que, um aumento de  $Y_r$  implica num crescimento de  $E_a$ , proporcionando em contra-

partida uma redução de  $E_s$  e  $D_p$ .

Quanto aos testes efetuados na área  $CA_2$ , verifica-se apenas pequena variação, entre testes, dos parâmetros analisados ( $E_a$ ,  $E_s$  e  $D_p$ ). Isto pode ser atribuído ao fato de que a lâmina real requerida ( $Y_{rr}$ ) foi mantida constante ao longo das irrigações, conforme estabelece a técnica inerente ao sistema de manejo convencional.

Verifica-se assim que os parâmetros  $E_a$ ,  $E_s$  e  $D_p$  estão relacionados com a variação da lâmina real requerida. Uma vez elevada a lâmina observou-se uma diminuição tanto na eficiência de armazenamento ( $E_s$ ) como nas perdas por percolação profunda ( $D_p$ ), proporcionando valores crescentes para a eficiência de aplicação ( $E_a$ ). Por outro lado, o aumento da eficiência de armazenamento implica em redução da eficiência de aplicação provocando um maior excesso de água aplicada. Este fato torna-se relevante na medida em que, implica na elevação dos custos da irrigação.

No ANEXO 3, é apresentada, para cada teste de desempenho, a aplicação desses parâmetros estudados através da relação de  $Y_r$ ,  $E_a$ ,  $E_s$  e  $A_D$  (área deficientemente irrigada),  $V_e$  (volume adimensional de água aplicada em excesso) e coeficiente de uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC).

#### 4.2 - Avaliação econômica

##### 4.2.1 - Estrutura dos custos e receitas

## I) Custos

Conforme a metodologia, definida no item Materiais e Métodos, os custos foram estruturados levando-se em conta que foi desenvolvido um sistema de produção para operar em uma única safra. Levou-se em consideração, ainda, o fato de que o equipamento de irrigação foi utilizado em apenas 1/3 do ano.

Os custos, fixos e variáveis, estão assim compostos:

## (a) Custos fixos

Estes custos são idênticos para os dois sistemas. Compõe-se de depreciação, juros e custos de manutenção dos equipamentos.

i) Depreciação (D) do equipamento de irrigação. Foi procedida a depreciação para cada peça do equipamento de irrigação, cujo valor (Cz\$) e tempo útil constam na TABELA 7.

Calculando-se a depreciação através da fórmula:

$$D = \frac{C_i - C_f}{t}$$

onde:  $C_i$  = custo inicial do equipamento

$C_f$  = custo final (residual) do equipamento

$t$  = tempo de vida útil

TABELA 7 - Quantificação, vida útil e custo do equipamento de irrigação (Área de 0,388 ha).

Item	Especificação	Vida Útil (anos)	Quant.	Unit.	Custo (Cz\$) *	
					Unitário	Total
01	Conjunto moto-bomba, motor diesel marca YAMMAR NSB 75, acoplado em base móvel com luva elástica à bomba KSB ETA 50-33/2 1710 rpm	10	01	ud		92.330,00
02	Válvula de pé de 3"	05	01	ud		1.091,00
03	Mangueira p/sucção de 3"	05	05	m	865,00	4.280,00
04	Nípel p/mangote de 3"	07	02	ud	376,60	753,00
05	Abrançadeira p/mangote de 3"	05	02	ud	408,00	816,00
06	Curva rosca externa c/manômetro até 10 atm, de 2"	10	01	ud		1.000,00
07	Registro de gaveta de 2"	08	01	ud		1.553,00
08	Nípel duplo de 2"	10	01	ud		307,00
09	Luva de redução de 3 x 2"	10	01	ud		772,00
10	Inicial c/rosca macho e saída fêmea c/engate rápido de 3", aço zincado	10	01	ud		1.533,00
11	Curva dupla c/engate rápido de 3"	10	01	ud		933,00
12	Tubos de alumínio c/engate rápido 3"	10	31	ud	2.225,00	68.975,00
13	Válvula de linha em alumínio c/engate rápido 3" x 3"	10	03	ud	1.800,00	5.400,00
14	Registro de derivação 3" x 3"	10	02	ud	1.740,00	3.480,00
15	Saída p/aspersor de 1" c/engate rápido 3"	10	08	ud	776,00	6.208,00
16	Válvula automática c/anel de borracha e vedação de 1"	10	08	ud	740,00	5.920,00
17	Tripé c/tubo de subida de 1" x 1 m	08	08	ud	1.683,00	6.733,00
18	Aspersor ASBRASIL ZE-30 bocal 6 mm	08	04	ud	1.067,00	4.268,00
19	Tampão final de 3" engate rápido macho	10	03	ud	610,00	1.830,00
TOTAL GERAL		-	-	-	-	208.182,00

(\*) Preço de Dezembro/87 - OIN = Cz\$ 522,99

Tem-se a seguinte depreciação (D) anual por sa-  
fra:  $D = \text{Cz\$ } 4.076,00$

ii) Juros (7% a.a.)

$$J = 0,07 \times \frac{C}{2}$$

onde:  $C = \frac{\text{Valor de Equipamento}}{3} = \frac{208.182}{3} =$

$$C = \text{Cz\$ } 69.394,00$$

$$J = 0,07 \times \frac{69.394}{2} = \text{Cz\$ } 2.428,00$$

iii) Manutenção (M)

$$M = 0,02 \times C$$

$$C = \text{Cz\$ } 69.394$$

então:  $M = 0,02 \times 69,394,00 = \text{Cz\$ } 1.388,00$

b) Custos variáveis

Esses custos, cujos valores foram Cz\$ 12.795,00 (área AA<sub>2</sub> - manejo tecnificado) e Cz\$ 14.621,00 (área Ca<sub>2</sub> - manejo convencional) - ver TABELAS 8 e 9, representam gastos com aluguel de tratores e implementos agrícolas, insumos

TABELA 8 - Despesas (custos diretos de produção) do experimento da área AA<sub>2</sub> (Manejo Tecnificado) - 0,38 ha.

Discriminação	Unid.	Quant.	Preço Unit.* (Cz\$)	Valor (Cz\$)	
<u>. Preparação da Área</u>					
. Aração	H/T	2,5	300,00	750,00	
. Gradagem	H/T	1,6	300,00	480,00	
. Transporte e dist. de esterco	H/T	4,0	300,00	1.200,00	
. Gradagem para incorporação de esterco	H/T	1,2	300,00	360,00	
. Sementes	kg	6,6	30,00	198,00	
<u>. Fertilizantes</u>					
. Uréia	kg	13	15,00	195,00	
. Superfosfato triplo	kg	26	13,00	338,00	
. Cloreto de potássio	kg	13	12,00	156,00	
<u>. Prod. Fitossanitários</u>					
. Calvini	kg	0,30	1.000,00	300,00	
. Nuvacron	l	0,11	1.000,00	110,00	
. Formicida	l	0,60	200,00	120,00	
. Azodrin	l	0,16	1.200,00	192,00	
<u>. Combustível e Lubrificantes</u>					
. Óleo diesel	l	142,5	17,40	2.479,00	
. Óleo 40	l	3,0	150,00	450,00	
. Água de Irrigação	m <sup>3</sup>	1.529,6	0,07	107,00	
<u>. Mão-de-Obra</u>					
. Plantio e adubação	diária	8,0	80,00	640,00	
. Replantio	"	0,5	80,00	40,00	
. Capinas e limpas	"	15,0	80,00	1.200,00	
. Desbaste	"	1,0	80,00	80,00	
. Aplicação de prod. fitossanitários	"	3,5	80,00	280,00	
. Irrigação	"	12,0	80,00	960,00	
. Colheita e transporte	"	19,5	80,00	1.560,00	
. Beneficiamento	kg	12,0	50,00	600,00	
TOTAL CUSTOS				-	12.795,00
PRODUTO BRUTO		kg	409,6	55,00	22.528,00

(\*) Preço de Dezembro/87 - OTN = Cz\$ 522,99

TABELA 9 - Despesas (custos diretos de produção) do experimento da área CA<sub>2</sub> (Manejo Convencional) - 0,38 ha.

Discriminação	Unid.	Quant.	Preço Unit* (Cz\$)	Valor (Cz\$)
<u>Preparação da Área</u>				
. Aração	H/T	2,6	300,00	780,00
. Gradagem	H/T	2,0	300,00	600,00
. Transporte e dist. de esterco	H/T	5,2	300,00	1.560,00
. Gradagem para incorporação de esterco	H/T	2,0	300,00	600,00
. Sementes	kg	6,7	30,00	201,00
<u>Fertilizantes</u>				
. Ureia	kg	13,0	15,00	195,00
. Superfosfato triplo	kg	26,0	13,00	338,00
. Cloreto de potássio	kg	13,0	12,00	156,00
<u>Prod. Fitossanitários</u>				
. Carvin	kg	0,09	1.000,00	300,00
. Nuvacron	l	0,09	1.000,00	90,00
. Azodrin	l	0,17	1.200,00	204,00
. Fomicida	l	0,60	200,00	120,00
<u>Combustível e Lubrificantes</u>				
. Óleo diesel	l	148,5	17,40	2.584,00
. Óleo 30	l	2,5	150,00	375,00
. Água de Irrigação	m <sup>3</sup>	1.690,0	0,07	118,00
<u>Mão-de-Obra</u>				
. Plantio	diária	8,0	80,00	640,00
. Replanteio	"	0,5	80,00	40,00
. Capinas e limpas	"	14,5	80,00	1.160,00
. Desbaste	"	1,0	80,00	80,00
. Aplicação de prod. fitossanitários	"	4,5	80,00	360,00
. Irrigação	"	8,0	80,00	640,00
. Colheita e transporte	"	31,0	80,00	2.480,00
. Beneficiamento	kg	20,0	50,00	1.000,00
<hr/>				
TOTAL CUSTOS	-	-	-	14.621,00
<hr/>				
PRODUTO BRUTO	kg	674,7	55,00	37.108,00

(\*) Preço de Dezembro/87 - OIN = Cz\$ 522,99

(sementes, adubos e defensivos), mão-de-obra, combustível e lubrificantes, beneficiamento do produto e custo da água de irrigação).

c) Receitas

As receitas são provenientes da venda do feijão, cuja produção, por área, é a seguintes:

. Área AA<sub>2</sub> (manejo tecnificado) = 409,6 kg

. Área CA<sub>2</sub> (manejo convencional) = 674,7 kg

- Receita (R) da Área AA<sub>2</sub>:

$R = \text{produção} \times \text{preço (relacionado a dezembro/87)}$

$R = 409,6 \text{ kg} \times \text{Cz\$ } 55,00/\text{kg} = \text{Cz\$ } 22.528,00$

- Receita (R) da Área CA<sub>2</sub>:

$R = 674,7 \text{ kg} \times \text{Cz\$ } 55,00/\text{kg} = \text{Cz\$ } 37.108,00$

A TABELA 10 mostra, em resumo, a estrutura dos custos e receitas da safra do feijão irrigado das duas áreas estudadas.

TABELA 10 - Estrutura dos custos e receitas para uma safra de feijão com irrigação.

Especificação	Valor (Cz\$)	
	Área AA <sub>2</sub>	Área CA <sub>2</sub>
I - Custos	<u>21.317,00</u>	<u>23.143,00</u>
i) Custos Fixos	8.522,00	8.522,00
ii) Custos Variáveis	12.795,00	14.621,00
II - Receitas	<u>22.528,00</u>	<u>37.108,00</u>

#### 4.2.2 - Resultados econômicos

A TABELA 11 apresenta os indicadores econômicos das duas áreas estudadas. O lucro obtido pela área AA<sub>2</sub> foi de Cz\$ 1.211,00, enquanto a área CA<sub>2</sub> obteve Cz\$ 13.965,00 de lucro, representando 2,32 e 26,70 OTN's respectivamente. O fator retorno ao trabalho foi de Cz\$ 100,35 (0,2 OTN's) e Cz\$ 286,89 (0,55 OTN's), significando dizer que a remuneração da mão-de-obra pela cultura da área AA<sub>2</sub> poderia ser de até Cz\$ 286,89, isto se todos os outros fatores permanecerem constantes. O valor pago pelo trabalho dos trabalhadores foi de Cz\$ 80,00, verifica-se portanto, que a cultura da área CA<sub>2</sub> obteve uma renda satisfatória com relação à receita por número de trabalhadores utilizados. O mesmo não ocorreu com a da área AA<sub>2</sub> cujo indicador de retorno ao trabalho praticamente se igualou ao valor efetivamente pago ao trabalhador.

O retorno à água para a área AA<sub>2</sub> foi de Cz\$ 0,86, e para a área CA<sub>2</sub> foi de Cz\$ 8,33. Significa que, mantendo-se os outros fatores constantes, poder-se-ia pagar até Cz\$ 0,86 por m<sup>3</sup> de água consumido na área AA<sub>2</sub> e Cz\$ 8,33 por m<sup>3</sup> consumido na irrigação da área CA<sub>2</sub>. O valor efetivamente pago pelo consumo de água de irrigação foi de Cz\$ 0,07, o que demonstra que os dois sistemas obtiveram uma lucratividade considerável, com respeito ao referido índice (retorno à água).

Conforme os resultados fornecidos pelos indicadores econômicos, depreende-se que o sistema que operou com manejo

TABELA 11 - Indicadores econômicos para uma safra de feijão com irrigação.

Especificação	Unid.	Valor (Cz\$)	
		Área AA <sub>2</sub>	Área CA <sub>2</sub>
Lucro	Cz\$	1.211,00	13.965,00
Retorno ao trabalho	Cz\$/H-d	100,35	286,89
Retorno à água	Cz\$/m <sup>3</sup>	0,86	8,33

convencional (área CA<sub>2</sub>), apresentou uma rentabilidade satisfatória, em que pese alguns parâmetros técnicos de avaliação terem apresentados valores abaixo do mínimo recomendável. Por outro lado, a área cujo sistema operou com manejo tecnificado (área AA<sub>2</sub>) apresentou resultados econômicos pouco favoráveis muito embora seus indicadores econômicos tenham apontado viabilidade. Fatores não previstos neste estudo, entre os quais características físicas inadequadas dos solos e incidência de forma intensiva de doença, contribuíram para que se registrasse uma defasagem de produtividade entre as culturas das duas áreas, que por sua vez implicou numa expressiva diferença nos resultados econômicos. Estes fatores serão abordados em detalhe no item que se segue.

#### 4.3 - Análise comparativa dos dois sistemas

A comparação técnica dos dois sistemas pode ser delimitada a partir dos dados existentes na TABELA 5, onde são mostrados os resultados da avaliação da performance dos respectivos sistemas de irrigação.

Como já nos referimos anteriormente, na apreciação dos parâmetros de qualidade, levando em conta a classificação de HART et alii (1979), de todos eles apenas os coeficientes de uniformidade (CUC, %) apresentaram valores tecnicamente baixos. Os demais parâmetros, Ea (eficiência de aplicação), Es (eficiência de armazenamento) e Dp (perdas por per-

colação); obtiveram comportamento na faixa de satisfatório a excelente.

Pelos dados da TABELA 5, observa-se que os valores dos parâmetros de qualidade dos dois sistemas, praticamente se igualam. O sistema que operou com manejo tecnificado (área AA<sub>2</sub>) apresentou valores de 77,95%, 92,72%, 22,05% e 75,01%, respectivamente para a Ea, Es, Dp e CUC. O outro sistema, de manejo convencional (área CA<sub>2</sub>), apresentou valores de 75,03%, 90,05%, 24,97% e 69,77%, respectivamente para a Ea, Es, Dp e CUC. Como se nota, os valores que representam a qualidade técnica dos dois projetos estão muito próximos. Há efetivamente uma ligeira superioridade dos valores alcançados pelo sistema de manejo tecnificado, não chegando a expressar, contudo, uma melhor qualificação técnica. Portanto, a rigor, pode-se afirmar que os dois sistemas de irrigação apresentaram o mesmo padrão técnico.

Os fatores que implicaram na obtenção de baixos valores para CUC, já analisados anteriormente, foram relacionados à velocidade de rotação dos aspersores, que em geral apresentaram uma média superior a 2 rpm, bem como à variação ocorrida na taxa de rotação, que foi atribuída ao fato dos aspersores serem usados. Há necessidade, portanto, da aplicação de alguma técnica de manejo, no sentido de melhorar a distribuição de água nos dois sistemas. Uma delas seria alternar, para cada irrigação subsequente, as posições de operação dos ramais de funcionamento ao longo da linha principal, ensejando aumentos nos valores do coeficiente de uniformidade.

Ao contrário dos resultados técnicos, em que os dois sistemas se nivelaram, os indicadores econômicos apontaram o sistema que operou com manejo convencional (área CA<sub>2</sub>) como tendo obtido melhor desempenho, comparado ao de manejo tecnificado (área AA<sub>2</sub>).

A avaliação econômica demonstrou, através dos indicadores econômicos aplicados, a viabilidade de ambos os sistemas, porém, com expressiva diferença de valores a favor do sistema de manejo convencional, como se pode verificar na TABELA 11. A razão foi o baixo nível de produtividade obtido pela cultura do projeto operado com manejo tecnificado, em torno de 1.000 kg/ha, enquanto o outro projeto, de manejo convencional, acusou 1.800 kg/ha.

Provavelmente, dois importantes fatores podem ter contribuído, efetivamente, para que a cultura da área AA<sub>2</sub> (manejo tecnificado) registrasse uma baixa produtividade: a) a incidência, com média intensidade, de doença - Podridão Fusariana (Fusarium solani (Mart.) Appel & Wr.). Na área CA<sub>2</sub> (manejo convencional) o ataque da doença foi de pequena magnitude; b) características físicas dos solos. Os solos da área AA<sub>2</sub> possuem características estruturais que de certa forma são inadequadas ao desenvolvimento normal de culturas agrícolas.

Esses solos (da área AA<sub>2</sub> - manejo tecnificado), apresentam uma camada compactada entre 20 e 30 cm de profundidade, o que certamente pode restringir condições e características, tais como: movimento de água, aeração, transferência de calor, etc., elementos essenciais ao crescimento das raí-

zes, e em consequência, vitais no desenvolvimento da planta. Vale ressaltar que a cultura dessa área (AA<sub>2</sub>) não apresentou um bom desenvolvimento vegetativo, ao contrário da cultura da área CA<sub>2</sub> (manejo convencional), cujo comportamento vegetativo foi excelente.

Solos com boa estrutura apresentam melhores condições de aeração e penetração de raízes, além de favorecer melhor permeabilidade à água (REICHARDT, 1987). Estes fatores, imprescindíveis ao desenvolvimento das culturas, seguramente foram proporcionados, adequadamente, pelos solos da área CA<sub>2</sub> (manejo convencional). As observações de campo e os resultados da avaliação técnica e econômica comprovam tal afirmativa.

A compactação do solo, que está indiretamente relacionada à estrutura, influencia os resultados de produtividade de uma cultura, contudo, é muito difícil avaliar seu efeito (REICHARDT, 1987). No presente estudo, as características estruturais dos solos da área AA<sub>2</sub> (manejo tecnificado), com certeza, exerceram influência nos aspectos de produção. No entanto, torna-se impossível avaliar até que nível implicaram nos quantitativos de produtividade, que redundou em desequilíbrio entre os valores econômicos dos dois sistemas.

A Podridão Fusariana, cuja incidência na cultura da área AA<sub>2</sub> (manejo tecnificado) deu-se com média intensidade, foi responsável pela queda de pelo menos, 20 a 30% da produção de feijão. Referida doença provocava o amarelecimento e seca das folhas, a murcha da planta e em seguida a morte. A maior incidência desta doença na área AA<sub>2</sub> em relação à outra

área do estudo, CA<sub>2</sub> (manejo convencional), pode ser atribuída ao fato da existência de maior e mais frequente nível de umidade (que favorece ao desenvolvimento do fungo) em torno das plantas. Vários fatores podem ser apontados, para explicar a maior presença de umidade relativa do ar naquela área: 1) más condições de permeabilidade dos solos conforme já foi comentado, referindo-se às características estruturais; 2) maior frequência das irrigações que é inerente ao próprio manejo (as irrigações ocorrem com pequena lâmina, porém com grande frequência; 3) o próprio método, aspersão, no processo de lavagem das folhas da cultura, propicia um aumento na umidade relativa do ar em torno da cultura (BERNARDO, 1982).

As condições acima expostas demonstram, claramente, que o baixo nível de produtividade apresentado pela cultura da área AA<sub>2</sub> (manejo tecnificado), verificou-se em virtude da ocorrência de fatores não previstos nas condições do presente estudo. Isto tudo permite concluir que a comparação econômica dos dois sistemas de irrigação é inconsistente, em que pese os dois projetos terem sido apontados, pelos instrumentos de avaliação, viáveis economicamente.

As TABELAS 8 e 9 indicam que os custos diretos de produção dos dois projetos foram praticamente iguais, inclusive os próprios gastos como consumo de água. As quantidades de água consumidas, por irrigação, com o sistema de manejo tecnificado são menores, porém, as irrigações são mais frequentes resultando ao final, praticamente o mesmo consumo. A ligeira superioridade da quantidade de água aplicada com o sistema de manejo convencional foi compensada pela menor

utilização de mão-de-obra, devido ao fato das irrigações serem menos frequentes.

A análise dos custos dos dois projetos tem um caráter restrito devido às pequenas dimensões de suas áreas. STRONG (1962) citado por BRITO (1986), mostrou a ocorrência de redução nos custos unitários da irrigação por aspersão quando se amplia a área irrigada. Portanto, é provável que os custos operacionais se modifiquem, ao se tomar como referência áreas de maiores dimensões que aquelas utilizadas no presente estudo. Além do mais, o combustível utilizado foi o óleo diesel, normalmente de custo mais elevado com relação ao acionamento a eletricidade. Isto em termos práticos significa que os dois sistemas podem reduzir seus custos operacionais, e assim apresentarem melhores resultados econômicos.

As análises efetuadas ao longo deste estudo, relativo aos dados de produção dos dois projetos, permitem afirmar que não se pode apontar este ou aquele tipo de manejo como sendo o que venha proporcionar melhores resultados técnicos e econômicos. Tecnicamente os dois sistemas apresentaram-se iguais, com performances aceitáveis à exceção da uniformidade de distribuição de água, cujos CUCs indicaram um baixo padrão, mas que podem ser alterados com a aplicação de alguma técnica de manejo. A superioridade em produtividade da cultura da área CA<sub>2</sub> (manejo convencional) fez com que ela obtivesse melhores rendimentos econômicos em relação à cultura da área AA<sub>2</sub> (manejo tecnificado) que, devido a fatores excepcionais (não previstos nas condições do estudo) não obteve resultados econômicos convincentes. Em consequência,

não há consistência no confronto entre os valores econômicos dos dois sistemas. Estes resultados permitem concluir que, para pequenos projetos podem ser empregados, indistintamente, as duas técnicas de manejo estudadas. Contudo, a maior simplicidade na aplicação do manejo convencional sugere sua indicação, em caráter prioritário, em médios e grandes projetos. Além do mais a menor frequência na aplicação de água (inerente ao manejo convencional), que está de alguma forma relacionada à propagação de doenças, principalmente em sistemas de aspersão, pode reforçar tal preferência.

Os resultados práticos do presente estudo conduzem à necessidade de se introduzir modificações na metodologia, para futura execução de trabalhos semelhantes. Os experimentos devem, inevitavelmente, serem conduzidos em solos que apresentem certa compatibilidade em suas características físicas. Desta forma, sugere-se que o estudo, ora discutido, seja desenvolvido em área de solos que tenham a maior homogeneidade possível. Convém, ainda, que as áreas sejam divididas em blocos, numa forma de se promover repetições, permitindo que se processem avaliações com análise estatística dos resultados.

## 5 - CONCLUSÕES

Os resultados e discussão apresentados no presente estudo, permitem concluir o seguinte:

5.1 - As irrigações efetuadas nos dois sistemas apresentaram um padrão de eficiência classificado entre satisfatório e excelente ( $20,35 < CV < 37,75$ ). Os coeficientes de uniformidade, no entanto, estão, em sua quase totalidade, abaixo de 80% e, em consequência, indicam irrigações com baixa uniformidade de distribuição;

5.2 - Os fatores climáticos pouco influenciaram os resultados da performance técnica dos dois sistemas visto que as irrigações se realizaram no período noturno. O horário dos testes foi entre 5:00 hs e 6:00 hs, em condições de baixa ou nenhuma velocidade do vento, elevada umidade do ar, baixa temperatura e finalmente baixa demanda evaporativa do ar;

5.3 - Os baixos valores dos coeficientes de uniformidade dos dois sistemas são atribuídos à alta velocidade de rotação dos aspersores. A variação entre as médias de rotações dos aspersores de teste (devido a condição de serem usados) juntamente com as imprecisões nas medições de campo, contribuíram para que ocorressem grandes va-

riações entre os resultados, teste a teste, no sistema com manejo tecnificado (área AA<sub>2</sub>);

- 5.4 - As variações teste a teste, ocorridas com as eficiências de aplicação e armazenamento e as perdas por percolação profunda estão relacionadas com a variação da lâmina real requerida. A elevação da lâmina implica numa diminuição na eficiência de armazenamento e nas perdas por percolação profunda, resultando num aumento da eficiência de aplicação;
- 5.5 - Nas condições do estudo, os dois sistemas apresentaram-se tecnicamente iguais, podendo ser utilizados indistintamente em pequenos projetos. A maior simplicidade na aplicação do manejo convencional além dos aspectos relacionados ao ataque de doenças, conduzem à preferência deste manejo em médios e grandes projetos;
- 5.6 - O sistema com manejo convencional (área CA<sub>2</sub>) obteve resultados econômicos superiores ao sistema com manejo tecnificado (área AA<sub>2</sub>). Isto em consequência da cultura ter atingido maior nível de produtividade;
- 5.7 - O menor nível de produtividade obtido pela cultura do sistema com manejo tecnificado (área AA<sub>2</sub>) deveu-se a fatores não previstos nestes estudos: variabilidade dos solos quanto às suas características físicas e incidência, de forma intensiva, de doença. Desta forma,

a comparação econômica entre os dois sistemas tornou-se inconsistente.

## 6 - RECOMENDAÇÕES

- 6.1 - Para fins de que se possa reduzir a influência das imprecisões no processo de medições de campo, nos valores do coeficiente de uniformidade, convém se realizar um maior número de testes;
- 6.2 - A influência exercida nos valores do coeficiente de uniformidade pela variação na média de rotação dos aspersores de testes, pode ser reduzida através da utilização de aspersores novos;
- 6.3 - Faz-se necessária a aplicação de alguma técnica de manejo para que seja melhorada a distribuição de uniformidade, cujo coeficiente situou-se abaixo dos 80%. A alternância de posições de funcionamento das laterais pode ser adotada;
- 6.4 - As irrigações em regiões de alta velocidade do vento, durante o dia, como é o caso da do presente estudo, devem ser efetuadas no período noturno para que seja reduzida a influência dos fatores climáticos sobre a performance técnica do sistema de irrigação por aspersão;
- 6.5 - Em virtude dos fatores que contribuíram para que se obtivesse expressiva diferença em produtividade entre

as culturas dos dois projetos, recomenda-se que os novos estudos sejam realizados em áreas que apresentem solos com características mais semelhantes, do ponto de vista físico. Sugere-se ainda sua divisão em blocos no sentido de possibilitar repetições e permitir a avaliação estatística dos resultados.

7 - LITERATURA CITADA

- ASAE. Procedure for sprinkler distribution testing for research purposes. Agricultural Engineers Yearbook, 564-566, 1975.
- BAGLEY, J.M. & CRIDDLE, W.D. Sprinkler irrigation systems in northern Utah. Utah State Agriculture College. 1955. 30p. (Bull. 387).
- BAPTISTELLA, J.R.; LEME, E.J.A.; ROSENFELD, U. & CAMPOS, H. Uniformidade de aspersão - avaliação da eficiência de aplicação e de armazenamento. (Anais do V Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, São Paulo-SP. 355-391. Out. 1980).
- BERNARDO, S. Manual de irrigação. 2<sup>a</sup> ed. Viçosa, UFV, Impr. Univ. 1982. 463 p.
- BRITO, RICARDO A.L. & SCALOPPI, E.J. Estimativa de custos da irrigação por aspersão no Brasil. (Anais do VII Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, Brasília-DF., 879-898, Set. 1986).
- CHAUDHRY, F.H. Perspectiva de otimização dos projetos de irrigação por aspersão, 16 p. (Trabalho apresentado no IV Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, Salvador-BA., Set. 1978).

- CHRISTIANSEN, J.E. Irrigation by sprinkling. Berkeley, California, University of California, 1942. 124 p. (Bull, 670).
- CRIDDLE, W.D.; DAVIS, S.; PAIR, C.H. & CHOCKLEY, D.G. Methods for evaluating irrigation systems. Soil Conservation Service, Agricultural Handbook nº 82, 1969, 24 p.
- DAKER, A.A. Água na Agricultura; Irrigação e Drenagem. 3<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro, Livraria Freitas Bastos, Vol. 3, 1970, 435 p.
- GOMIDE, R.L.; BERNARDO, S.; VIEIRA, M. & SEDIYAMA, G.C. Análise da uniformidade de distribuição da água no sistema de irrigação por aspersão. Revista Ceres. Vol. XXVII, nº 153, 1980.
- HALDERMAN, A.D. & FROST, K.R. Sprinkler irrigation in Arizona. Cooperative Extension Service and Agricultural Experiment Station, University of Arizona, 1968 (Bull, A-56).
- HART, W.E.; PERI, G. & SKOGERBOE, G.V. Irrigation performance: An evaluation. Journal of the Irrigation and Drainage Division, 105(3):275-289, 1980.
- JENSEN, MARVIN E.; SWARNER, LAWRENCE R. & PHELAN, JOHN, T. Improving irrigation efficiencies. Madison, ASA, 1967, Cap. 61 (Agronomy, II).
- KELLER, J. Irrigation chapter 11, Sprinkler Irrigation.

- Agricultural and Irrigation Engeneering, Logan, Utah, 1979, 302 p.
- NOGUEIRA, L.C. Determinação dos parâmetros de avaliação de dois sistemas de irrigação por aspersão. Fortaleza, UFC, 1987, 110 p. (Dissertação de Mestrado).
- OLITTA, A. F.L. Os métodos de irrigação. São Paulo, Nobel, 1984, 267 p.
- REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. Editora Menole, São Paulo-SP. 1987, 186 p.
- REED, A.D.; MEYER, JEWELL, L.; ALJIBURY, F.K. & MARSH, A.W. Irrigation costs. Division of Agricultural Sciences, University of Califórnia. Out, 1980, 10 p.
- RIBEIRO, J.M. Avaliação do sistema de irrigação por aspersão através do modelo linear. Fortaleza, UFC, 1982, 89 p. (Dissertação de Mestrado).
- SCALOPPI, E.J. Características dos principais sistemas de irrigação. Irrigação e Tecnologia Moderna, nº 25, 1986.
- SOARES, JOSÉ M.; PINTO, J.M. & MAGALHÃES, A. A eficiência de irrigação por aspersão a nível de parcela no sistema de irrigação Senador Nilo Coelho. (Anais do VII Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, Brasília-DF. 437-460, Set. 1960).
- SOLOMON, K. Variability of sprinkler coeficient of uniformity test results. Transactions of the ASAE. 1078-1086, 1979.

WALKER, W.R. Sprinkler and trickle irrigation. Department of  
Agricultural and Chemical Engineering, Colorado State  
University, Fort Collins, Colorado, USA Fourth Edition,  
1979, 175 p.

ANEXO 01

PROJETO DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

DA ÁREAS CA<sub>2</sub> E AA<sub>2</sub>

PROJETO HIDROAGRÍCOLA DA ÁREA CA<sub>2</sub>

MODELO DE APLICAÇÃO DE ÁGUA: CONVENCIONAL - Aplicação de lâmina de água e intervalo de rega constantes.

I - DADOS BÁSICOS

- . Localização - Fazenda Experimental do Vale do Curu da  
UFC
- . Área - 3.888 m<sup>2</sup>
- . Topografia - plana
- . Textura do solo - média
- . Constantes de umidade do solo:
  - . Camada de 0-30 cm
    - camada de campo (CC) = 16,60% (em peso)
    - umidade de murchamento (PM) = 5,2% (em peso)
  - . Camada de 30-60 cm
    - capacidade de campo (CC) = 18,73% (em peso)
    - umidade de murchamento (PM) = 5,7% (em peso)
- . Densidade do solo:
  - camada de 0-30 cm - 1,56 g/cm<sup>3</sup>
  - camada de 30-60 cm = 1,45 g/cm<sup>3</sup>

- . f (fator de consumo) = 0,35
- . Velocidade básica de infiltração (VIB) = 8 mm/h
- . Eficiência de aplicação - 80%
- . Cultura - feijão
- . ETR = 4,5 mm/dia
- . Profundidade efetiva do sistema radicular = 60 cm
- . Altura da haste - 1,0 m

## II - INFORMAÇÕES DE PROJETO

- 01 - Lâmina líquida a ser aplicada (Yrr) - 38,51 mm
- 02 - Lâmina bruta a ser aplicada (Lb) - 48,14 mm
- 03 - Turno de rega (Tr) - 9 dias
- 04 - Características do aspersor utilizado
  - . modelo - ZE-30 (1 bocal)
  - . bocal - 6,0 mm
  - . pressão de serviço - 2,5 atm
  - . vazão - 2,16 m<sup>3</sup>/hora
  - . intensidade de aplicação - 6,66 mm/dia
  - . espaçamento - 18 x 18 m
  - . raio de alcance - 16,25 m
- 05 - Tempo de irrigação por posição (Ti) - 7,25 horas
- 06 - Número de horas de funcionamento diário - 7,25 hs
- 07 - Período de irrigação - 3 dias
- 08 - Número de posições para cada aspersor - 3
- 09 - Número de aspersores em funcionamento (uma late-

- ral) - 4
- 10 - Volume de água requerida por irrigação -  $187,17 \text{ m}^3$
- 11 - Vazão requerida ( $Q_r$ ) -  $8,61 \text{ m}^3/\text{hora}$
- 12 - Vazão do aspersor ( $q$ ) -  $2,15 \text{ m}^3/\text{hora}$
- 13 - Comprimento da linha lateral - 60 m
- 14 - Perda de carga na linha lateral ( $\emptyset 3''$ ) - 0,173 m
- 15 - Comprimento da linha principal - 45 m
- 16 - Perda de carga na linha principal ( $\emptyset 3''$ ) - 0,270 m
- 17 - Comprimento da linha de adução - 21,0 m
- 18 - Perda de carga na linha de adução ( $\emptyset 3''$ ) - 0,126 m
- 19 - Pressão necessária na entrada da linha lateral  
- 26,173 m
- 20 - Altura manométrica total (Hmt) - 27,897 m
- 21 - Bomba escolhida - KSB ETA 50-33/2, 1710 rpm
- 22 - Motor escolhido - YAMMAR NS 75 (Diesel)

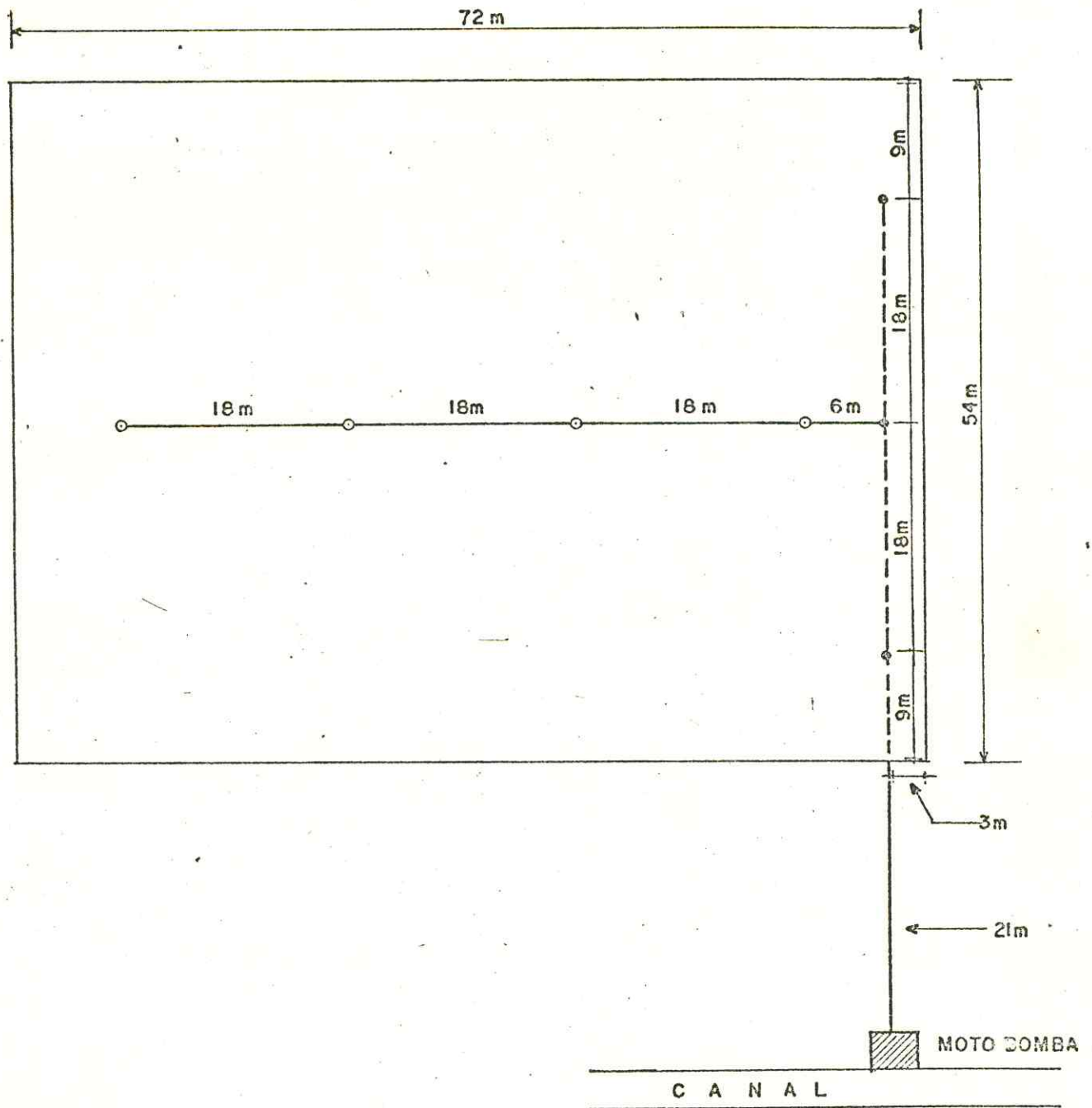









Fig.13 — PLANTA ESQUEMÁTICA DA ÁREA CA<sub>2</sub>

ESCALA: 1: 500  
 ÁREA: 3.888m<sup>2</sup>

CONVENÇÕES

-  MOTO BOMBA
-  LINHA DE ADUÇÃO (ϕ3")
-  LINHA PRINCIPAL (ϕ3")
-  LINHA LATERAL (ϕ3")
-  LIMITE DA ÁREA
-  ASPERSOR
-  DERIVAÇÃO

PROJETO HIDROAGRÍCOLA DA ÁREA AA<sub>2</sub>

MODELO DE APLICAÇÃO DE ÁGUA : TECNIFICADO - Aplicação de lâmina de água com base na curva de uso consuntivo acumulado da cultura.

I - DADOS BÁSICOS

- . Localização - Fazenda Experimental do Vale do Curu da  
UFC
- . Área - 3.888 m<sup>2</sup>
- . Topografia - plana
- . Textura do solo - média
- . Constantes de umidade do solo:
  - . Camada de 0-30 cm
    - capacidade de campo (CC) - 17,47 % (em peso)
    - umidade de murchamento (PM) - 5,4% (em peso)
  - . camada de 30-60 cm
    - capacidade de campo (CC) - 11,92 %
    - umidade de murchamento (PM) - 6,90%
- . Densidade do solo:
  - . camada de 0-30 cm - 1,66 g/cm<sup>3</sup>
  - . camada de 30-60 cm - 1,45 g/cm<sup>3</sup>

- . Fator de consumo (f) - 0,35
- . Velocidade básica de infiltração (VIB) - 7,5 mm/h
- . Eficiência de aplicação - 80%
- . Cultura - feijão
- . Profundidade efetiva do sistema radicular - 60 cm
- . Altura da haste - 1,0 m

## II - INFORMAÇÕES DE PROJETO

### 1) Lâmina líquida a ser aplicada (Yrr)

- . Yrr (0-20 cm) = 14 mm
- . Yrr (0-40 cm) = 23,55 mm
- . Yrr (0-60 cm) = 28,65 mm

### 2) Lâmina bruta (Lb)

- . Lb (0-20 cm) = 17,50 mm
- . Lb (0-40 cm) = 29,44 mm
- . Lb (0-60 cm) = 35,81 mm

- 3) Turno de rega: variável - conforme a curva de uso con  
suntivo acumulado da cultura (Ver TABE  
LA 1)

## 4) Características do aspersor a ser utilizado

- . Modelo - ZE-30 (1 bocal)
- . Bocal - 6,0 mm
- . Pressão de serviço - 2,5 atm
- . Vazão - 2,16 m<sup>3</sup>/hora
- . Intensidade da aplicação - 6,66 mm/hora
- . Espaçamento - 18 x 18 m
- . Raio de alcance - 16,25 m

## 5) Tempo de irrigação por posição

- . 1<sup>a</sup> irrigação - 7,50 hs
- . 2<sup>a</sup> irrigação - 2,58 hs
- . 4<sup>a</sup> irrigação - 7,75 hs
- . 5<sup>a</sup>, 6<sup>a</sup> e 7<sup>a</sup> irrigação - 4,42 hs
- . 8<sup>a</sup> irrigação - 7,17 hs
- . 9<sup>a</sup>, 10<sup>a</sup>, 11<sup>a</sup> e 12<sup>a</sup> irrigação - 5,33 hs

## 6) Número de posições para cada aspersor - 3

## 7) Número de aspersores em funcionamento (uma lateral)-4

## 8) Volume de água requerida por irrigação

- . 1<sup>a</sup> irrigação - 194,40 m<sup>3</sup>
- . 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> irrigação - 67,40 m<sup>3</sup>
- . 4<sup>a</sup> irrigação - 200,88 m<sup>3</sup>

- . 5<sup>a</sup>, 6<sup>a</sup> e 7<sup>a</sup> irrigação - 114,57 m<sup>3</sup>
  - . 8<sup>a</sup> irrigação - 185,33 m<sup>3</sup>
  - . 9<sup>a</sup>, 10<sup>a</sup>, 11<sup>a</sup> e 12<sup>a</sup> irrigação. - 138,67 m<sup>3</sup>
- 9) Vazão média requerida (Qr) - 8,64 m<sup>3</sup>/h
- 10) Vazão do aspersor (q) - 2,16 m<sup>3</sup>/h
- 11) Comprimento da linha lateral - 60 m
- 12) Perda de carga na linha lateral (Ø 3") - 0,17 m
- 13) Pressão necessária na entrada da linha lateral - 26,173m
- 14) Comprimento da linha de adução - 15 m
- 15) Perda de carga na linha de adução (Ø 3") - 0,090 m
- 16) Comprimento de linha principal - 45 m
- 17) Perda de carga na linha principal (Ø 3") - 0,270 m
- 18) Altura manométrica total (Hmt) - 27,859 m
- 19) Bomba escolhida - KSB ETA 50 - 33/2, 1710 rpm
- 20) Motor escolhido - YAMMANR NSB 75 (Diesel)

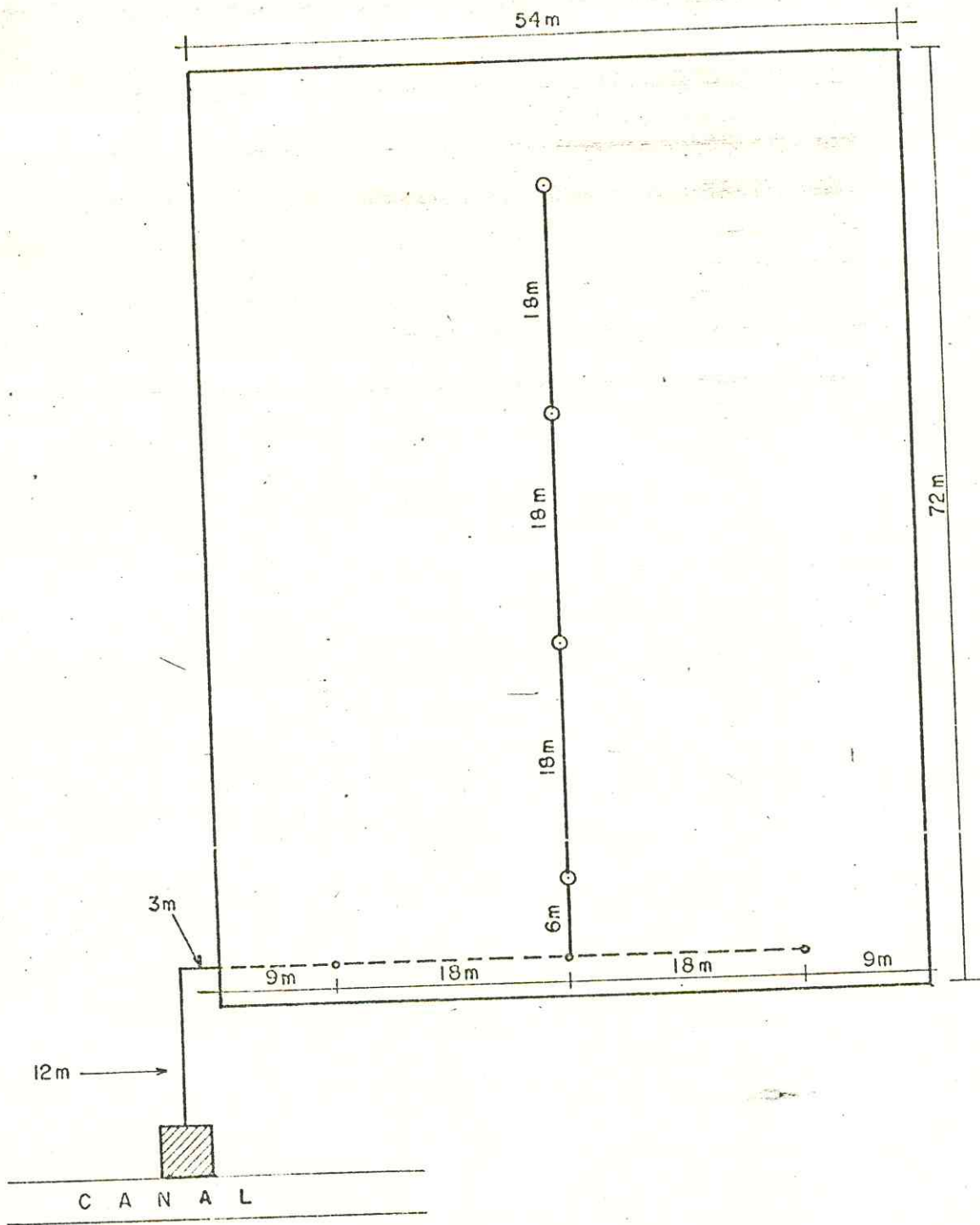
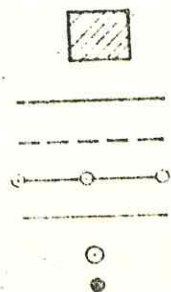


Fig. 14 — Planta esquemática da área AA<sub>2</sub> — Esc. 1:500  
 ÁREA: 3888m<sup>2</sup>.

CONVENÇÕES:



- MOTO BOMBA
- LINHA DE ADUÇÃO
- " PRINCIPAL
- " LATERAL
- LIMITE DA ÁREA
- ASPERSOR
- DERIVAÇÃO

ANEXO 02

DADOS DE CAMPO DOS DOIS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO  
POR ASPERSÃO E RESULTADOS DA AVALIAÇÃO PELO  
MODELO LINEAR

TABELA 12 - Dados de campo e resultados da avaliação pelo modelo linear, teste nº 1, área CA<sub>2</sub>.

SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL  
CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO

ÁREA Nº CA<sub>2</sub> SUB-ÁREA M.Convenc. TESTE Nº 1  
 DATA 10.09.87 RESPONSÁVEL Augusto  
 SISTEMA: PRESSÃO 28,13m VAZÃO 8,64m<sup>3</sup>/h  
 LATERAL: PRESSÃO 26,40m VAZÃO 8,64m<sup>2</sup>/h  
 ASPERSORES: MARCA Perrot-ASBRASIL MODELO ZE-30  
 DIAM. BOCAIS: ESPECIFICADO 6mm OBTIDO 6mm  
 ESPAÇAMENTO: 18 x 18m ALT. HASTE 1,0m  
 PRESSÃO MÉDIA 25m VAZÃO MÉDIA 0,61 l/seg

A S P. Nº	TEMPO DE ROTAÇÃO (S)					R P M
	1º Q.	2º Q.	3º Q.	4º Q.	CIRC.	
1	7	8	7	7	31	1,94
2	8	8	9	8	34	1,76

HORA: INÍCIO 5:40 FINAL 6:40 DURAÇÃO 1,0 hora

VOLUMES COLETADOS (Cm<sup>3</sup>):

2,5	2,0	3,0	0,5	2,0	-
2,5	3,0	4,0	3,0	3,0	2,0
2,5	4,0	4,0	4,0	3,5	3,5
25,0	16,5	4,5	4,0	13,0	17,0
39,0	35,0	27,0	25,0	44,0	55,0
40,0	34,0	54,0	63,0	54,0	52,0
28,0	32,0	56,0	77,0	41,0	26,0

24,0	39,0	56,0	74,0	32,0	29,0
29,0	24,0	53,0	69,0	31,0	19,0
39,0	22,0	51,0	60,0	33,0	24,0
28,0	35,0	28,0	24,0	38,5	33,5
27,0	18,0	-	-	15,0	19,0

EVAPORAÇÃO:

VOLUMES: INICIAL 50ml FINAL 48ml EVAPORADO 2,0ml

VENTO: (CATAVENTO / ANEMÔMETRO)

DADOS LIDOS	INSTANTE (MIN)						
	0	10	20	30	40	50	60
DIREÇÃO	N-S	N-S	N-S	N-S	N-S	N-S	N-S
DISTANCIA (hm)	71.655	71.656	71.657	71.658	71.660	71.662	71.665
DADOS CALCULADOS	INTERVALO (MIN)						
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	
DIFERENÇA (hm)	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	3,0	
VELOCIDADE (km/h)	0,6	0,6	0,6	1,2	1,2	1,8	



