

CONCEPÇÃO E TESTE DE UM DISPOSITIVO PARA AUTOMATIZAÇÃO DA
IRRIGAÇÃO LOCALIZADA BASEADO EM TANQUE DE EVAPORAÇÃO.

FRANCISCO TASSO MENDES MELO

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

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

FORTALEZA - 1991

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

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

Francisco Tasso Mendes Melo

DISSERTAÇÃO APROVADA EM : 30 / 12 / 91

Prof. Moisés Custódio Saraiva Leão, Ph.D
Orientador da Dissertação

Prof. Luís Carlos Uchôa Saunders, Doutor
Conselheiro

Prof. Paulo Teodoro de Castro, Mestre
Conselheiro

À minha esposa Socorro, pelo carinho
e dedicação; aos nossos filhos Tasso
Júnior, Diane, Thaís, Luciana e

Em memória aos meus pais

ADELINO E ALAIDE

D E D I C O

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Piauí, por ter oferecido a oportunidade de realização deste curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida.

Ao Professor Moisés Custódio Saraiva Leão, Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Agronomia Área de Concentração Irrigação e Drenagem e Orientador no desenvolvimento e realização deste trabalho, pela eficiência e amizade.

Ao Professor Luís Carlos Uchôa Saunders, pela amizade, colaboração e sugestões apresentadas.

Aos Professores Zairo Ramos Silva, Francisco de Souza e Paulo Teodoro de Castro, pela orientação e amizade durante o curso.

Aos demais professores que ministraram o Curso de Agronomia, Área de Concentração Irrigação e Drenagem, pelos ensinamentos recebidos.

Aos técnicos Elias Teodoro da Silva Júnior e Sebastião Giovany Cardoso Gomes, do Laboratório de Instrumentação Eletrônica do Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará, pela confecção do sistema eletrônico para automatização do sistema de irrigação.

Aos colegas do curso pelo apoio, amizade e convivência amiga.

Aos funcionários do Laboratório de Hidráulica e Irrigação do Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, pela ajuda prestada durante a condução do experimento.

E enfim, àqueles que direta ou indiretamente, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISIA DE TABELAS	viii
LISIA DE FIGURAS	ix
LISIA DE ANEXOS	x
RESUMO	xiii
ABSTRACI	xiv
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - REVISÃO DE LITERATURA	3
3 - MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1 - Dispositivo de Automatização	19
3.2 - Sistemática de Teste e Calibração do Equipamento de Automatização	20
3.3 - Teste do Sistema de Irrigação Acoplado ao Dispositivo de Automatização	21
3.3.1 - Caracterização da Área do Experimento	21
3.3.1.1 - Localização Geográfica	21
3.3.1.2 - Características Climáticas	22
3.3.1.3 - Classificação do Solo	23
3.3.5 - Calibração do Dispositivo de Automati- zação Acoplado ao Sistema de Irri- gação	23
3.4 - Calibração do Conjunto de Automati- zação Acoplado ao Sistema de Irriga-	

ção em bananeira	25
3.5 - Monitoramento da Umidade do Solo	
com a Sonda de Neutrons	26
3.5.1 - Calibração da Sonda de Neutrons	26
3.5.2 - Acompanhamento das Irrigações	
com a Sonda	28
4 - <u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	31
4.1 - Construção do Dispositivo de Automatização .	31
4.1.1 - Princípio de Funcionamento	33
4.2 - Dados de Calibração do Dispositivo de	
Automatização	35
4.2.1 - Determinação do Volume de Água	
para Reabastecimento do Tanque	
de Evaporação	35
4.2.2 - Tempo e Vazão de Reabastecimento do	
Tanque de Evaporação	36
4.2.3 - Vazão dos Gotejadores	38
4.3 - Testes do Dispositivo de Automatização . . .	38
4.4 - Monitoramento da Umidade do Solo para	
Determinação das Necessidades Hídri-	
cas da Cultura da Banana	40
4.4.1 - Calibração da Sonda de Neutrons	40
4.4.2 - Determinação da Umidade do Solo	
com a Sonda de Neutrons	41
5 - <u>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</u>	43
6 - <u>LITERATURA CITADA</u>	45

LISIA DE TABELAS

TABELAS

Página

01	Características físicas e químicas do solo . .	24
----	--	----

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS	Página
01 Sistema de Automaatização Acoplado ao Sistema de Irrigação Localizada	27
02 Corte Longitudinal da Baterias de Tubos de Acesso Instalados na Touceira de Banana. . .	30
03 Sistema de Automaatização Acoplado ao Tanque de Evaporação Glasse " A "	32
04 Distância Vertical entre os Sensores no Poço Tranquilizador Externo ao Tanque	34
05 Equipamento de Reabastecimento do Tanque de Evaporação	37

LISTA DE ANEXOS

TABELAS

Página

- 02 Dados para Construção de uma Curva de Calibração de uma Sonda de Neutrons em um Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico A franco textura argilosa ou Oxic Haplustalfs, em Fortaleza-Geará. Profundidade 25 cm. 52
- 03 Dados para Construção de uma Curva de Calibração de uma Sonda de Neutrons em um Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico A franco textura argilosa ou Oxic Haplustalfs, em Fortaleza-Geará. Profundidade 50 cm. 53
- 04 Dados para Construção de uma Curva de Calibração de uma Sonda de Neutrons em um Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico A franco textura argilosa ou Oxic Haplustalfs, em Fortaleza-Geará. Profundidade 75 cm. 54
- 05 Dados para Construção de uma Curva de Calibração de uma Sonda de Neutrons em um Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico A franco textura argilosa ou Oxic Haplustalfs, em Fortaleza-Geará. Profundidade 100 cm. 55

bração de uma Sonda de Neutrons em um Podzó-
lico Vermelho Amarelo Eutrófico A franco
textura argilosa ou Oxic Haplustalfs, em For-
taleza-Ceará. Profundidade 100 cm. 55

FIGURAS

06 Curva de Calibração da Sonda de Neutrons em
um Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico A
Franco Textura Argilosa, para a profundida-
de de 25 cm. 56

07 Curva de Calibração da Sonda de Neutrons em
um Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico A
Franco Textura Argilosa, para a profundida-
de de 50 cm. 57

08 Curva de Calibração da Sonda de Neutrons em
um Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico A
Franco Textura Argilosa, para a profundida-
de de 75 cm. 58

09 Curva de Calibração da Sonda de Neutrons em
um Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico A

Franco Textura Argilosa, para a profundida-	
de de 100 cm.	59

QUADRO

01	Componentes Utilizados na Construção do	
	Detector de Nível	60
02	Esquema de Ligação do Detector de Nível	61

RESUMO

Com base em evaporação em tanque " Classe A ", construiu-se um dispositivo simples e de baixo custo para, ao mesmo tempo, automatizar e monitorar a irrigação em sistemas de irrigação pressurizada. O equipamento foi testado em um sistema de irrigação localizada, instalado em uma cultura de bananeira.

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Hidráulica e Irrigação, do Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, localizado em Fortaleza-Ceará, no período de 09 a 29/12/90.

Para acompanhamento do teor de umidade do solo, após e antes de cada irrigação consecutiva, para determinação das necessidades d'água da cultura da banana, utilizou-se uma sonda de neutrons, marca TROXLER - 3332.

O dispositivo de automatização elaborado e testado, funcionou adequadamente, tendo acionado o sistema de irrigação de acordo com a programação elaborada, satisfazendo assim as necessidades hídricas da cultura durante o período dos testes.

ABSTRACT

Based on a " class A " evaporation pan, a simple and inexpensive device was adapted and constructed to, at the same time, monitorize and make automatic the irrigation of crops by pressurized systems. The device was tested with a localized irrigation system on a banana crop at the Hidraulics and Irrigation Laboratory of the University of Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil, from 09 to 29 of december, 1990.

The soil moisture was monitorized, before and after irrigations, by a Troxler - 3332 neutron probe, and the water needs of the crop were determined for the observation period.

The automation device worked properly and was able to turn the irrigation system on and off as programmed, satisfying the water needs of the crop during the period of the tests.

1 - INTRODUÇÃO

O extensivo uso da água na irrigação, associada à crescente demanda imposta pelo desenvolvimento industrial, torna um imperativo o uso racional e eficiente desse recurso em quase todas as áreas da terra. Mesmo nas áreas onde a água não é fator limitante, os elevados custos de fertilizantes e da mão de obra estão fazendo com que o produtor seja obrigado a melhorar a eficiência da irrigação.

A fim de aprimorar a eficiência, são necessárias alterações nas atuais práticas de irrigação e fornecimento de água. Entre tantas inovações e aperfeiçoamentos tecnológicos à escolha do produtor, merecem um destaque especial os sistemas mecanizados utilizados na irrigação e drenagem, muito dos quais apresentam um elevado grau de automatização.

As principais razões, pelas quais os sistemas mecanizados automáticos são justificados, podem ser atribuídas ao melhor desempenho, maior rapidez e menores custos, quando comparados a técnicas convencionais utilizadas.

Os sistemas de irrigação localizada são, em geral, instalações fixas, formadas por várias unidades de rega

que operam em sequência, com longos tempos de aplicação de água e elevada frequência. Por essas características especiais, de método que utiliza sistemas permanentes, é o que mais se adapta a um controle de irrigação por automatização parcial ou total, em relação a outros sistemas convencionais.

Esses sistemas, podem permitir uma programação automática das irrigações, desde válvulas volumétricas até sistemas eletrônicos acoplados a microcomputadores.

Dentre os níveis de automatização existentes, este trabalho teve por objetivo adaptar, construir e testar em condições de laboratório e campo, um equipamento baseado em tanque evaporimétrico, de fácil construção e de baixo custo, para automatizar e monitorar a irrigação em um sistema de irrigação por gotejo.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - AUTOMATIZAÇÃO

Na irrigação localizada, a possibilidade de automização do sistema é bem maior do que em qualquer outro método de irrigação, devido às próprias características do método em se apresentar como um sistema fixo.

GOLDBERG, GORNAT & RIMON (1976), citado por OLITTA (1977), apresentam as possibilidades atuais de automização em três grupos distintos, de acordo com o processo de operação adotado : sistema operando em sequência hidráulica, eletricamente e sistemas operando por informações no campo por controle remoto.

Com os equipamentos existentes atualmente no mercado, pode-se conseguir diversos níveis de automização, até chegar com o uso de microcomputadores para uma programação automática de irrigação para períodos de tempo mais ou menos longos. Segundo KELLER & KARMELI (1975) os progressivos níveis de automização podem ser caracterizados pela

forma usada para abrir e fechar as válvulas de controle das subunidades de irrigação. O nível 0 (zero) de automatização é aquele em que o controle de pressão, abertura e fechamento das válvulas de cada subunidade é feita manualmente.

Além do nível " zero " de automatização, existem mais quatro níveis, enumerados de 1 (um) a 4 (quatro), que são :

Nível 1 - As unidades de irrigação são controladas por válvulas volumétricas instaladas independentemente, abertas manualmente e que se fecham automaticamente após a passagem de um determinado volume;

Nível 2 - As válvulas são ligadas em série a cada subunidade de irrigação, com a regulação do volume a aplicar, e início da irrigação feita manualmente, e abertura e fechamento sequencial das válvulas, automaticamente;

Nível 3 - Nesse nível, a operação de ligar ou desligar o suprimento de água às subunidades é feita através de sinais eletromagnéticos, com base geralmente no tempo ou volume - elétrico/eletrônico;

Nível 4 - Totalmente automatizado, pode ser realizado com o uso de um controle central, com base em tempo e

volume, ou por sensores de umidade no solo. A quantidade de água, tempo de aplicação, abertura e fechamento das válvulas, limpeza sistemática dos filtros, acionamento de equipamento de fertirrigação, são programados por períodos de até uma semana e executados com o emprego de microcomputadores.

Quando um sistema é utilizado com ciclo de irrigação definido - turno de rega - cada irrigação pode ser iniciada por um " sensor " em tanque de evaporação Classe " A ", e para isso, algumas adaptações são feitas, para que o mesmo se comporte como um dispositivo de automatização (KELLER & KARMELI, 1975; VERMEIREN & JOBLIN, 1984).

2.2 - EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A transpiração se refere às perdas de água das plantas e é fundamentalmente um processo passivo determinado por : 1) quantidade de energia necessária fornecida pelo calor latente para a demanda da água evaporada; 2) disponibilidade de água à superfície das plantas onde ocorre a evaporação, e 3) existência de um mecanismo de transferência para mover a água na forma de vapor a partir da superfície das

plantas, onde a evaporação ocorre para a camada atmosférica (SHAW & LAING, 1965). A evaporação é a perda de água que ocorre diretamente na superfície do solo. Quando a evaporação e transpiração ocorrem simultaneamente, a este fenômeno, dá-se o nome de evapotranspiração. " Entretanto a evaporação mais a transpiração determinadas separadamente não são equivalentes à evapotranspiração, sendo mais conveniente considerar esta como uma única perda isolada ", GANGOPADHIAYA 1966, citado por ASSIS, 1978.

A evapotranspiração é a perda combinada de água para a atmosfera, na forma de vapor, através de processos de evaporação das superfícies e transpiração das plantas (HUSCHKE, 1970).

Segundo THORNTHWAITE & HARE (1965), a evapotranspiração compreende as seguintes fases : 1) movimento da água no perfil do solo em direção à sua superfície e à zona da absorção radicular; 2) movimento da água no sistema radicular para a superfícies das folhas; 3) evaporação da água através da superfície do solo e dos estômatos; 4) evaporação da água de chuva interceptada pelas folhas e, 5) remoção do vapor d'água por fluxos turbulentos.

Com base nas fases que envolve o processo de evapotranspiração, THORNTHWAITE em 1944 (THORNTHWAITE & HARE, 1965) e PENMAN (1956) introduziram o conceito de evapo-

transpiração potencial. Para o primeiro autor a evapotranspiração potencial é a perda de água de uma superfície de solo úmido, completamente coberta com vegetação (sem especificar o tipo), suficientemente grande para tornar desprezível o efeito oásis. PENMAN (1956), acha desnecessário o termo evapotranspiração e prefere definir transpiração potencial como a quantidade de água transpirada na unidade de tempo por uma cultura de porte baixo e uniforme, cobrindo totalmente o solo em condições ótimas de umidade. Completando a definição PENMAN acrescenta : " para uma completa cobertura do solo por plantas da mesma cor, isto é com o mesmo coeficiente de reflexão, a taxa de transpiração potencial é a mesma independente do tipo de planta ou solo, sendo determinada apenas pelas condições de tempo ".

Medidas de evapotranspiração normalmente não existem, como se faz necessário, para cada região ou condição climática. Em virtude disso, as estimativas baseadas em princípios físicos e fisiológicos, ou mesmo em equação empíricas que utilizam parâmetros climáticos comuns constituem-se, muitas vezes, na única alternativa disponível. Segundo TANNER (1967), os métodos de estimativa da evapotranspiração são representados por três principais classes : 1) Método Micrometeorológicos; 2) Métodos de Balanço Hídrico e 3) Métodos Empíricos.

Os métodos micrometeorológicos apresentam, segundo

TANNER (1967), a vantagem sobre os demais por permitirem estimativas da evapotranspiração para períodos de uma hora ou menos o que é válido para aferição de outros métodos. GRANT (1975), usando lisímetros e sonda de neutrons como métodos " PADRÃO " para medida da evapotranspiração em cultura de cevada conclui que, quando a razão de BOWEN é pequena este é o melhor método para medida da evapotranspiração ao longo de todo o ciclo da cultura. Para TANNER (1960), todos os métodos que usam medidas de umidade do solo como estimativa da evapotranspiração, não podem ser usados por períodos menores do que cinco dias, devido aos erros associados às medidas diárias.

O método do balanço hídrico divide-se em dois: 1) um que utiliza o lisímetro na estimativa dos processos envolvidos no balanço hídrico, que é considerado por BERNARDO (1982), como o mais preciso na determinação da evapotranspiração, desde que sua instalação seja correta, e 2) outro em que a estimativa é realizada diretamente num volume de controle de solo, devidamente instrumentado, sendo apresentado por diversos autores (ROSE & STERN, 1967; REICHARDT, 1975; SAUNDERS, CASTRO, BEZERRA & PEREIRA, 1984).

Quanto aos métodos empíricos utilizados para determinação da evapotranspiração, encontram-se o evaporímetros, que são bons indicadores das necessidades hídricas das plantas. Entre eles, o tanque Classe " A ", do Serviço Me-

teorológico dos Estados Unidos da América, que é o mais empregado e quando bem manipulado dá bons resultados de estimativa da evapotranspiração de referência (ETo).

LOPES & MATHISON, citado por GRASSI (1968), mostram uma alta correlação entre a evaporação do tanque (Ev), nas condições de trópico, com o valor do coeficiente de correlação (r) de 0,913 e uma relação média ETP/Ev igual a 0,75.

GOLDBERG (1974), baseado em vários trabalhos, recomenda o coeficiente de tanque de 0,75 para se estimar a evapotranspiração potencial, e indica a utilização do tanque Classe " A ", em particular, como medida e indicador da evapotranspiração potencial.

Desde que as normas de operação do tanque sejam observadas de forma rigorosa, obtém-se a evapotranspiração potencial com confiabilidade razoável, mediante o uso da equação $ETP = ECA \times Kp$, onde ECA é a evaporação do tanque Classe " A "; Kp é o coeficiente do tanque, que é afetado pelo ambiente em que está localizado (DOORENBOS & PRUITT, 1977).

DOORENBOS & PRUITT (1977), apresentaram uma tabela de valores de Kp para diferentes velocidade de vento, umidade relativa e superfície cultivada em volta do tanque.

Porém, sabe-se que todos os instrumentos empregados para medir evaporação, atuam com independência da fisiologia da planta, indicando a evapotranspiração potencial. Quando se leva em conta o cultivo e seu estágio de desenvolvimento, é necessário que se façam algumas correções (ISRAELSEN & HANSEN, 1965).

A estimativa da evapotranspiração potencial inclui aspectos de ordem física que dependem do clima, enquanto o K_c que é o coeficiente representativo na relação água-solo-planta considera o efeito físico-fisiológico (GRASSI, 1968). Para estimativa da evapotranspiração potencial (ETP), devem ser corrigidas com coeficientes específicos, denominados de coeficientes de cultura K_c (HARGREAVES, 1974).

AGUIAR (1975), fazendo estimativa da evapotranspiração do feijão comum, *Phaseolus vulgaris*, L., utilizando tanque de evaporação e fórmulas empíricas, conclui que o tanque Classe " A " superestimou a evapotranspiração potencial estimada pelos métodos de PENMAN, van BAVEL, THORNTWHAITE & HARGREAVES.

CASTRO (1979), em trabalho realizado com a cultura do milho, em Piracicaba-SP, determinou a evapotranspiração atual (ETA) utilizando o método do balanço hídrico num volume de controle de solo e correlacionou os resultados obtidos com o calculado pelo método de PENMAN e a evapo-

transpiração estimada em função da evaporação do tanque Classe " A " (EPEN e ETP, respectivamente), e que se relacionou através das equações :

$$ETP = - 3,900 + 1,320 \cdot E, \quad r = 0,998$$

$$ETPPEN = - 1,000 + 1,053 \cdot E, \quad r = 0,999,$$

evidenciando que a ETR pode ser estimada a partir da evapotranspiração de PENMAN ou evaporação do tanque Classe " A ".

SILVA, CAMPOS, MENDES & GOÉS (1977), em experimento realizado no Centro Técnico de Experimentação do Perímetro Irrigado de São Gonçalo, Souza-PB, com a finalidade de determinar a evapotranspiração da cultura da banana, com base em evaporação do tanque Classe " A ", com quatro tratamentos:

$$L1 = 1,00 \times Et;$$

$$L2 = 0,85 \times Et;$$

$$L3 = 0,70 \times Et;$$

$$L4 = 0,55 \times Et, \quad (Et - \text{Evaporação do tanque}),$$

concluíram que a taxa de evapotranspiração diária era de 7,23, 6,15, 5,05 e 3,98 mm/dia, para os respectivos tratamentos.

O controle de irrigação de uma cultura pode ser feito com boa precisão e bastante facilidade operacional,

utilizando-se os dados de evaporação diária da superfície livre das águas, desde que se tenha determinado experimentalmente a relação existente entre a evapotranspiração da cultura e a evaporação do tanque, para diferentes fases climáticas durante o ano. BOVEE (1975), com experimento realizado no Líbano, com bananeiras cultivadas em lisímetros encontrou uma taxa de evapotranspiração em torno de 1.200 mm/ano (observação em 1972), com a relação evapotranspiração/evaporação do tanque Classe " A " igual a 0,82 para toda a estação de irrigação e de 0,78 para todo o ano, com uma máxima de 1,00 no período crítico (julho/setembro).

2.3 - MONITORAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO COM SONDA DE NEUTRONS

Segundo GREAGEN (1981), a utilização da sonda de neutrons para avaliar o conteúdo de umidade do solo foi iniciado no Canadá e Estados Unidos no início dos anos 50, e nesse mesmo período um instrumento portátil era desenvolvido para o uso no campo por HOLMES e um grupo de física do solo no CSIRO DIVISÃO DE SOLOS, em Adelaide-Austrália. Como pesquisadores deste local tinham grande interesse em determinar o consumo de água na evapotranspiração, um medidor de umidade através de neutrons oferecia grande possibilidade para medir a variação do conteúdo de umidade armazenada no solo.

A determinação da umidade do solo pela técnica de moderação de neutrons é utilizada há bastante tempo e, atualmente, ^{na} sendo largamente difundida, tendo então ocorrido progressivo desenvolvimento no sentido de melhorar a durabilidade e agilizar a manipulação das sondas (BELTRAME & TAYLOR, 1980).

A sonda de neutrons tem sido utilizada em vários estudos para determinar o uso de água pelas plantas (HOLMES, 1956; STERN, 1965; ROSE & STERN, 1967; KITCHING, 1967; van BAVEL, STIRK & BURST, 1968), como também para determinar o movimento de água no solo, uma vez que permite que se façam medições de variação de umidade da água armazenada no solo, ao longo do tempo (GREACEN, 1981).

Visto que o conteúdo de umidade do solo estabelece uma fundamental relação solo-água, a sonda de neutrons tem encontrado extensa aplicação na ciência aplicada, engenharia e indústria. Ela apresenta-se como meio rápido e não destrutivo de monitoramento do conteúdo de umidade do solo, em volume, e sua variação no espaço e no tempo (WILLIAM, HOLMES, WILLIAMS & WINKWORTH, 1981).

O método da sonda de neutrons é usado mais frequentemente para avaliar o conteúdo da água no solo em função da profundidade do perfil para uma sequência de medidas pontuais. Com isso, é possível " supor com prioridade " e

separar por dedução uma larga classe de variáveis de água no solo as quais incluem : água armazenada, capacidade de armazenamento do perfil, água disponível e déficit de água no solo. Com dados obtidos pela moderação de neutrons associados com estimativas de potencial de água no solo, podem-se obter informações de manejo *in situ*, sobre as relações entre o potencial total da água no solo e condutividade hidráulica, que são propriedades hidráulicas essenciais.

Em estudos de balanço hídrico a relação solo-planta e entrada e saída de água em um intervalo de tempo é representado pela equação :

$$R = Q + E + S + D ,$$

onde R é a água que entra via precipitação ou irrigação; Q escoamento superficial; E evapotranspiração; S a variação de armazenamento de água no solo na zona radicular e D é a drenagem abaixo da zona radicular que resulta em recarga para o lençol freático. O balanço hídrico é avaliado simplesmente usando-se informações produzidas no campo calculando-se seus componentes e, particularmente àqueles de evapotranspiração e recarga do lençol freático (WILLIAMS, HOLMES, WILLIAMS & WINKWORTH, 1981).

A sonda tem sido usada extensivamente para monitorar a água do solo em estudos de campo, no que respeita à

rar a água do solo em estudos de campo, no que respeita à resposta das plantas pelo stress hídrico. O déficit de água no solo, na zona do sistema radicular, é comumente avaliada pela moderação de neutrons, enquanto que a fisiologia da planta e medidas micrometeorológicas são " mantidas " apenas sobre uma porção do sistema (McGOWN, 1973).

TAYLOR & KLEPPER (1975), utilizaram a sonda de neutrons para determinar simultâneamente o fluxo e o potencial da água no solo a várias profundidades, na profundidade efetiva do sistema radicular; a partir da relação entre condutividade hidráulica e do gradiente de potencial com os dados obtidos com a sonda, avaliaram a importância do solo e a resistência solo-raiz ao fluxo de água no sistema solo-planta.

A aplicação da dispersão de neutrons para estimar o teor de umidade do solo envolve três processos :

- 1 - Emissão de neutrons rápidos a partir de uma fonte radioativa;
- 2 - Moderação da velocidade de neutrons termais por colisões no meio solo-água retornando à fonte emissora; e,
- 3 - " Absorção seletiva e contagem de neutrons

térmicos em um ponto encerrado na fonte emissora.

O processo de moderação (2) poder ser fortemente dependente da densidade do solo e composição química, enquanto que o 1 (um) e 3 (três) são determinados pelo pesquisador - uma teoria que poderia ser vantajosa na escolha do instrumento (GOODSPEED, 1981).

Os dois primeiros processos descritos acima, quando associados, produzem uma nuvem de neutros térmicos em equilíbrio dinâmico à uma distância de 1 (um) a 2 (dois) metros (GLASSTONE & EDLUND, 1957).

A sonda de neutrons consiste de duas partes : 1) sonda com blindagem, e 2) sistemas eletrônicos de contagem, sendo que em alguns modelos essas partes são separáveis (sonda SOLO - 20) e em outras não (TROXLER série 3330).

A sonda é um cilindro metálico selado de 3 (três) a 4 (quatro) centímetros de diâmetro e 20 (vinte) a 30 (trinta) centímetros de comprimento, com fontes radioativas de Amerício/Berílio-241 ($^{241}\text{Am}/\text{Be}$) ou Rádio/Berílio-226 ($^{226}\text{Ra}/\text{Be}$).

As fontes de neutrons são uma mistura de um emissor alfa (Am ou Ra) com o Berílio em pó. As partículas

alfa bombardeiam os núcleos de Berílio, conforme reação nuclear abaixo :



Os neutrons 1ND, que são o produto da reação, são chamados de neutrons rápidos, com energia da ordem de 2 MeV, que interagem com o meio que circunda a sonda.

O espalhamento de neutrons por colisões (elásticas e inelásticas) é o processo no qual se baseia o princípio de funcionamento da sonda. Através dessas colisões, os neutrons rápidos perdem energia (moderação) e tornam-se lentos ou térmicos (com energia em torno de 0,025 eV). Este processo é chamado também de termalização (GARDNER, 1965). Se as colisões são elásticas, quanto maior o núcleo alfa, menor será a energia perdida pelo neutron.

Verifica-se que o 1H é o isótopo mais eficiente na redução de energia do neutron rápido, sendo então um bom moderador para neutrons. Como o hidrogênio é um dos constituintes da água, esta é também um bom moderador para neutrons. Desta forma, quanto maior o conteúdo de água no solo, maior será a quantidade de neutrons lentos presentes ao redor da fonte de neutrons rápidos (BACCHI & REICHARDT).

A emissão de neutrons rápidos, por meio da fonte,

após alguns segundos, desenvolve uma " nuvem " de neutrons lentos ao redor da fonte, apresentando uma forma esférica de diâmetro de cerca de 15 a 30 cm. O número de neutrons lentos por unidade de volume em cada ponto dessa " nuvem " permanece constante e é proporcional ao conteúdo de água no solo abrangido pela " nuvem ". Uma vez que o detector de neutrons lentos está dentro do volume da " nuvem ", a taxa de contagem (Cpm ou Cps) é proporcional ao conteúdo de água no mesmo volume de solo. O instrumento é, então, calibrado através de amostras de solo retiradas próximo ao volume abrangido pela " nuvem " de neutrons (distância superior a 30 cm do tubo de acesso), nas quais são tomadas medidas do teor de umidade pelo método gravimétrico (BACCHI & REICHARDT).

Outros componentes do solo também apresentam hidrogênio na sua constituição mas, nesses casos, tais componentes não variam em sua concentração e são levados em conta na calibração.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento, teste, calibração do equipamento de automatização e acompanhamento do teor de umidade do solo com a sonda de neutrons, foi feito seguindo-se as seguintes etapas :

- a) Adaptação e construção do dispositivo elétrico-eletrônico a ser acoplado ao tanque evaporimétrico;
- b) Teste e calibração do equipamento de automatização isolado do sistema de irrigação;
- c) Teste do equipamento de automatização acoplado ao sistema de irrigação localizada, para irrigação em bananeira;
- d) Monitoramento da umidade do solo com a sonda de neutrons;

3.1 - Dispositivo de Automatização

Foi escolhido um dispositivo de automação baseado em evaporação em tanque, tanto pela estreita relação existente entre evaporação e evapotranspiração das culturas, como pela facilidade de construção e operação, associadas ao baixo custo do equipamento. Este deveria constar de um tanque evaporimétrico, de um conjunto de contatos sensíveis ao nível da água no tanque, de um dispositivo para recarga automática do tanque e de um circuito elétrico-eletrônico para acionamento e parada da eletrobomba do sistema de irrigação.

3.2 - Sistemática de Teste e Calibração de Equipamento de Automatização

Testes para verificar a sensibilidade (ligar e desligar) e capacidade de funcionamento (tempo em horas) do dispositivo, foram realizados no Laboratório de Instrumentação Eletrônica do Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará.

Após instalação no campo, outros testes também seriam realizados, para calibração simultânea dos gotejadores e tempo de reabastecimento do tanque de evaporação " Classe A ", para avaliar com maior precisão o desempenho do dispositivo.

Testes com o dispositivo instalado no campo, para

verificar a sensibilidade dos sensores ao nível da água, seriam feitos com o abastecimento do tanque de evaporação com uma mangueira, até a água atingir o sensor superior momento em que o sistema seria desligado. Posteriormente, drenava-se a água até que o sensor inferior deixasse de estar em contato com a água, quando o sistema era acionado. Repetia-se esta sequência de teste, para determinar a altura da lâmina evaporada correspondente a distância vertical entre os sensores. Esta distância, entre sensores, seria calculada levando-se em consideração a evaporação média diária do mês.

Seguindo-se esta sequência de testes seria feita a calibração do equipamento de automatização.

3.3 - Teste do Sistema de Irrigação Acoplado ao Dispositivo de Automatização.

3.3.1 - Caracterização da Área do Experimento.

3.3.1.1 - Localização Geográfica

O experimento foi conduzido no Laboratório de Hidráulica e Irrigação do Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, em Fortaleza-Ceará. O laboratório encontra-se geográ-

ficamente localizado a 3° 44' de latitude sul e o meridiano de 38° 33' a oeste de Greenwich, com altitude de 19,53 m em relação ao nível do mar.

3.3.1.2 - Características Climáticas

O clima da região, segundo classificação de Koeppen, é do tipo Aw', ou seja, tropical chuvoso com precipitações de verão-outono, megatérmico e temperaturas de todos os meses superiores a 18° C. Dados fornecidos pela Estação Agrometeorológica do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, em Fortaleza-Ceará.

SILVA, (1987), baseado no índice efetivo de umidade, classifica o tipo climático da região como C1, que é caracterizado por seco e sub-úmido, com índice de menos 26 (-26).

Durante o período de condução do experimento, dezembro de 1991, as condições climáticas locais foram : umidade relativa média mensal de 73 % ; velocidade média de vento 4,40 m/s ; temperatura do ar média mensal máxima de 31,10° C e mínima de 23,60° C ; a demanda evaporativa média mensal, fornecida pelo tanque de evaporação " Classe A ", foi de 237,30 mm e pelo evaporímetro de Piche de 162,60 mm, e precipitações pluviométricas de 28 mm, com um,

total mensal de 32,70 mm.

3.3.1.3 - Classificação do solo

O solo foi classificado, segundo o Laboratório de Solos do Departamento de Ciências do Solo do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como Podzólico vermelho amarelo Eutrófico A franco, textura argilosa ou Oxic Haplustalfs, e suas características físicas e químicas são mostradas na Tabela 1.

3.3.5 - Calibração do dispositivo de Automa- tização acoplado ao sistema de irrigação.

Para testar a eficiência do conjunto automa-
tização-irrigação-abastecimento do tanque de evaporação, drena-
va-se a água do tanque de evaporação até descobrir o sensor
inferior. Com isso, o sistema era acionado e iniciava a ir-
rigação. Quando a lâmina d'água era repostada ao tanque, até
atingir o sensor superior, o sistema automaticamente era
desligado.

Com este procedimento, foi determinada a vazão de
reabastecimento do tanque de evaporação e, posteriormente,
seria feito a calibração dos gotejadores para que o sistema

TABELA 01 - Características físicas e químicas do solo

Camada de Solo		Análise Granulométrica					Classificação Textural	Porosidade Determinada (%)	Macropo-rosidade (%)	Micropo-rosidade (%)	Densidade do solo g/cm³
Símbolo	Limite (cm)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Argila Natural (%)					
		2 0,2	0,2 0,05	0,05 0,002	< 0,002						
AP	0 - 16	46	36	7	11	11	Areia franca				1,60
AB	16 - 48	42	30	9	19	19	Franco Arenoso				1,54
BA	48 - 67	27	22	14	37	37	Argilo Arenoso				1,36
B1	67 - 102	22	18	20	40	40	Franco Argiloso				1,53

Camada de Solo		Complexo Sorativo Me/ 100g de Solo							100 S/T	Carbono	Sódio	C E	
Símbolo	Limites (cm)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Al ³⁺	S	T	V(%)	(%)	(%)	mmhos/cm
AP	0 - 16	0,7	0,7	0,1	0,2	0,2	0,1	1,0	1,2	83	0,34	10,00	0,3
AB	16 - 48	0,7	0,7	0,1	0,1	0,1	0,3	0,9	1,0	90	0,31	5,00	0,2
BA	48 - 67	0,9	0,9	0,1	0,1	0,3	0,2	2,0	2,3	87	0,34	4,00	0,3
B1	48 -102	0,6	1,0	0,1	0,1	0,1	0,0	1,8	1,9	95	0,27	5,26	0,1

funcionasse integrado, ou seja, tempo de reabastecimento do tanque x lâmina necessária para suprir as necessidades hídricas da cultura.

Para verificar a eficiência do dispositivo por um maior espaço de tempo, procedeu-se a irrigação de uma cultura de banana, já na fase adulta, acompanhando com a sonda de neutrons a variação do teor de umidade entre duas irrigações consecutivas.

3.4 - Calibração do conjunto de automatização acoplado ao sistema de irrigação em bananeira.

Para estimar a evapotranspiração de referência, com fins de condução do experimento, utilizaram-se a evaporação média em tanque " Classe A " e a velocidade média de vento por um período de 9 (nove) anos (dados fornecidos pela Estação Agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará). Com estes dados e a localização do tanque de evaporação, através da equação $ETP = Eca \times Kp$, estimou-se a evapotranspiração potencial média diária (DOOREMBOS & PRUITT, 1977).

Com base na evapotranspiração de referência, determinou-se as necessidades hídricas para a cultura da banana, já na fase adulta, para irrigação por gotejo, utilizando-

do-se o coeficiente de cultivo (f) 0,80 (HOARE, 1974, citado por OLITTA, 1977), com eficiência de irrigação de 90 % , área coberta de 90% e espaçamento da cultura de 2 x 2 m.

Com estas determinações fez-se a calibração do conjunto em funcionamento integrado, ou seja, reposição da lâmina evaporada no tanque x irrigação para suprir as necessidades da cultura (Figura 1).

3.5 - Monitoramento da umidade do solo com a sonda de neutrons

3.5.1 - Calibração da Sonda

Foi escolhida uma área próxima ao experimento para instalação do tubo de acesso para calibração da sonda. Fez-se uma bacia de contenção de 3 x 3 m e foi inundada por uma semana. Colocava-se uma lâmina d'água na bacia e assim que infiltrava era feita nova reposição. Repetiu-se esta operação até que o perfil do solo ficasse saturado na profundidade em que se pretendia fazer as determinações de umidade. Após este procedimento, cobriu-se a bacia com plástico para evitar perdas por evaporação e, no dia seguinte foi iniciada a coleta de amostra de solo e medições com a sonda no tubo

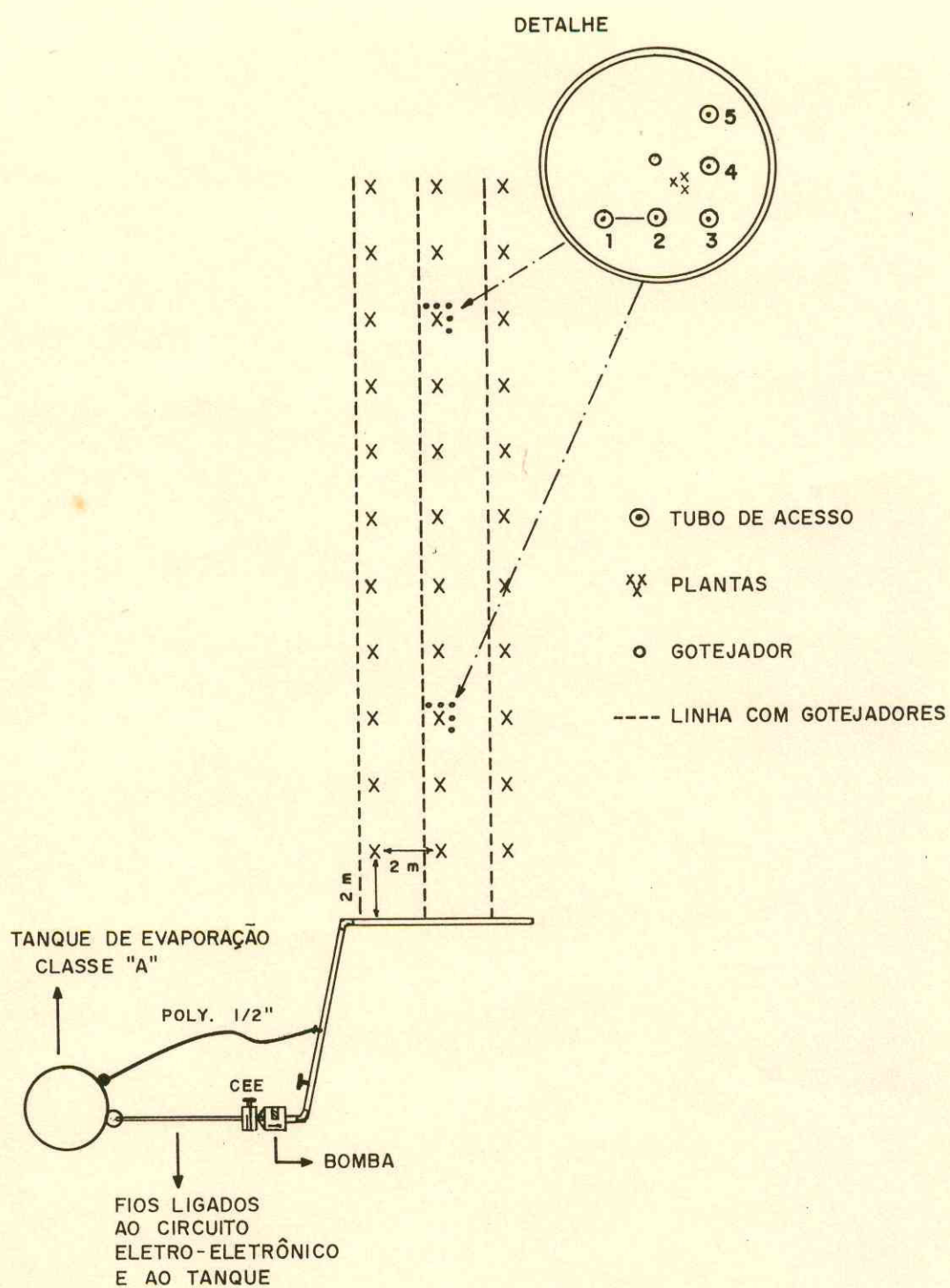


Figura 1 - Sistema de Automação Acoplado ao Sistema de Irrigação Localizada (Gotejamento).

de acesso da Contagem Relativa no solo.

O tubo de acesso foi instalado no centro da bacia a uma profundidade de 1,33 m, ficando com uma altura de 0,17 m acima da superfície do solo.

Antes de iniciar as determinações de umidade, às profundidades de 25, 50, 75 e 100 cm, a sonda foi testada quanto a sua estabilidade, utilizando-se a sua própria blindagem de proteção, para determinação da contagem padrão. Após a obtenção dessa contagem, foram feitas leituras àquelas profundidades, com três repetições, ao mesmo tempo em que eram retiradas três amostras de solo às mesmas profundidades e em pontos diferentes, para determinação da umidade do solo pelo método gravimétrico.

3.5.2 - Acompanhamento das Irrigações com a Sonda de Neutrons.

Inicialmente foi feita uma irrigação para uniformização da umidade do solo da área e, posteriormente, fez-se uma leitura da umidade com a sonda. Antes da irrigação seguinte, quando a lâmina evaporada no tanque acionava o mecanismo de automatização, eram feitas novas leituras de umidade do solo e por diferença seria calculado o consumo de água pela cultura.

O acompanhamento da umidade do solo com fins de determinar o consumo de água pela cultura, foi feito, às mesmas profundidades de calibração, em duas baterias de tubos de acesso (Figura 2), cada uma com 5 (cinco) unidades, instalados próximos a duas touceiras de banana escolhidas ao acaso, e espaçados de 0,50 m.

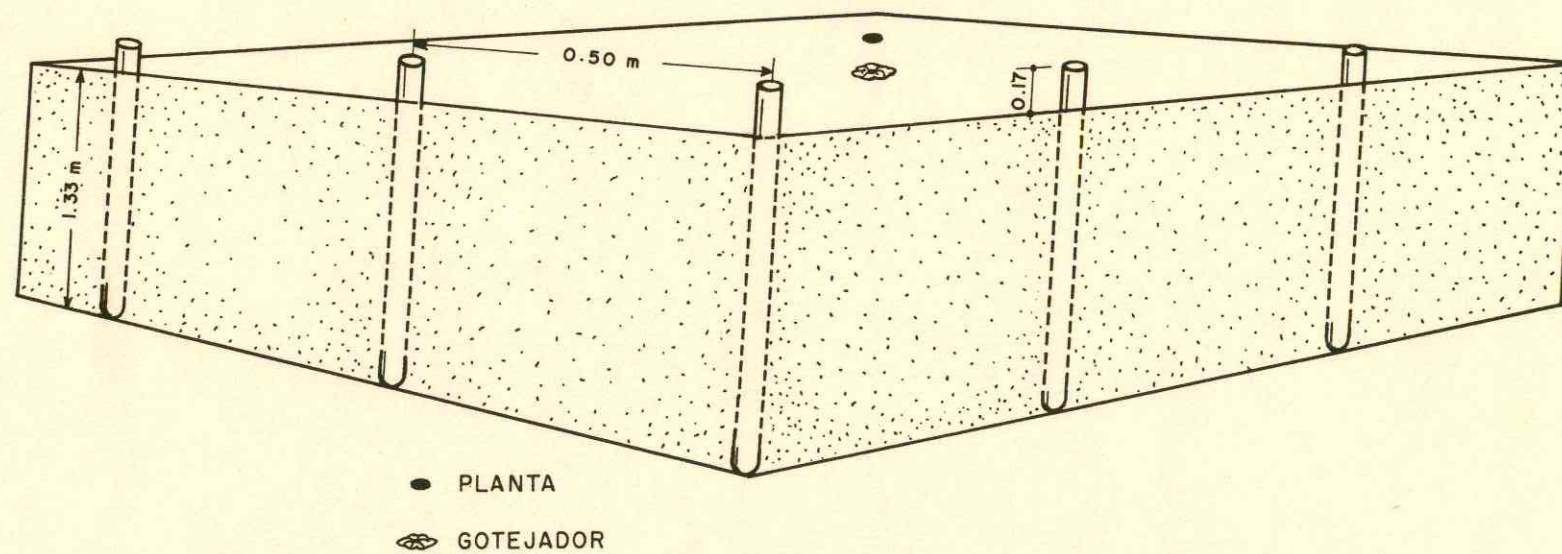


Figura 2 - Tubos de Acesso instalados em uma touceira de banana para acompanhamento da umidade do solo com a sonda de neutrons.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos resultados obtidos com o dispositivo de automação, calibração da sonda de neutrons para acompanhamento do teor de umidade do solo, entre duas irrigações consecutivas, e determinação das necessidades hídricas da cultura da banana, procurou-se discutí-los como se segue :

4.1 - Construção do dispositivo de automatização

Para automatização do sistema de irrigação por gotejamento utilizou-se um sistema acoplado a um tanque de evaporação " Classe A ", modificando-o (Figura 3). Esse sistema constou de:

1 - Um poço tranquilizador externo ao tanque, fixo no estrado de madeira, conectado na base por um tubo de cobre, fazendo com que o nível da água fosse o mesmo no conjunto tanque-poço. Dois sensores instalados no tranquilizador externo eram responsáveis pelo acionamento e parada do conjunto motobomba, em resposta às variações do nível da

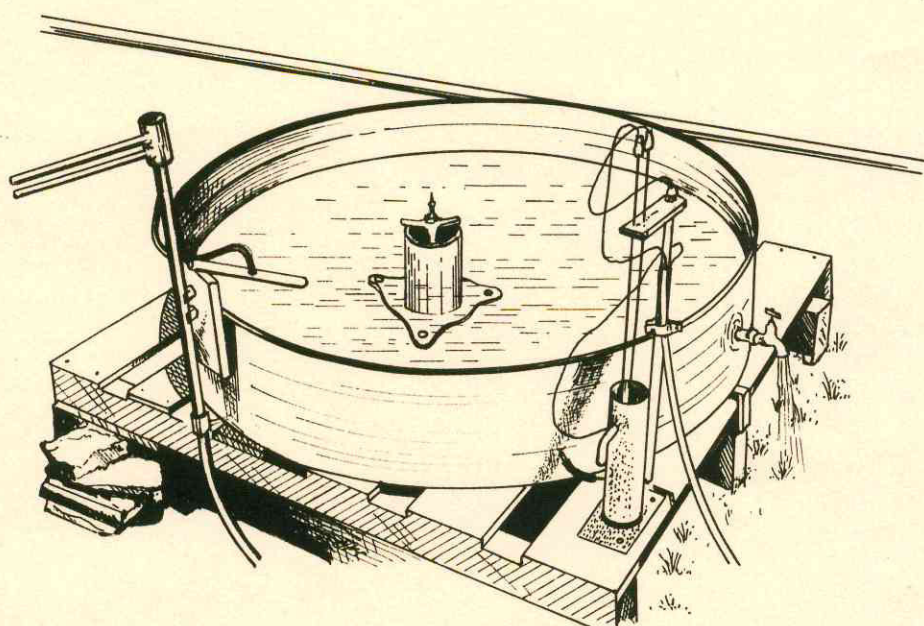


Figura 3 - Tanque de Evaporação Classe " A " modificado
para automatização do sistema de irrigação.

água no tanque evaporimétrico;

2 - Uma torneira para facilitar o esvaziamento do tanque com maior rapidez no momento de calibração do volume de abastecimento;

3 - Dispositivo de abastecimento do tanque durante o período de irrigação, adaptado a um suporte externo ao tanque.

4.1.1 - Princípio de Funcionamento do Sistema.

O tanque de evaporação foi conectado a um poço tranquilizador com dois sensores, ligados a um dispositivo eletrônico, que promovem o funcionamento e parada do sistema de irrigação. O espaço vertical entre os dois sensores, que é regulável, delimita a lâmina evaporada entre duas irrigações consecutivas (Figura 4).

Como o turno de rega foi preestabelecido em 1 (um) dia e as necessidades hídricas da cultura da bananeira foram estimadas com base em dados de evaporação, a distância vertical entre os sensores deveria ser de 8,40 mm. Contudo, para proteção contra a ação de aves, o tanque foi coberto com uma tela de malha hexagonal, e a altura vertical entre sensores teve de ser corrigida para 7,30 mm (TUBELIS

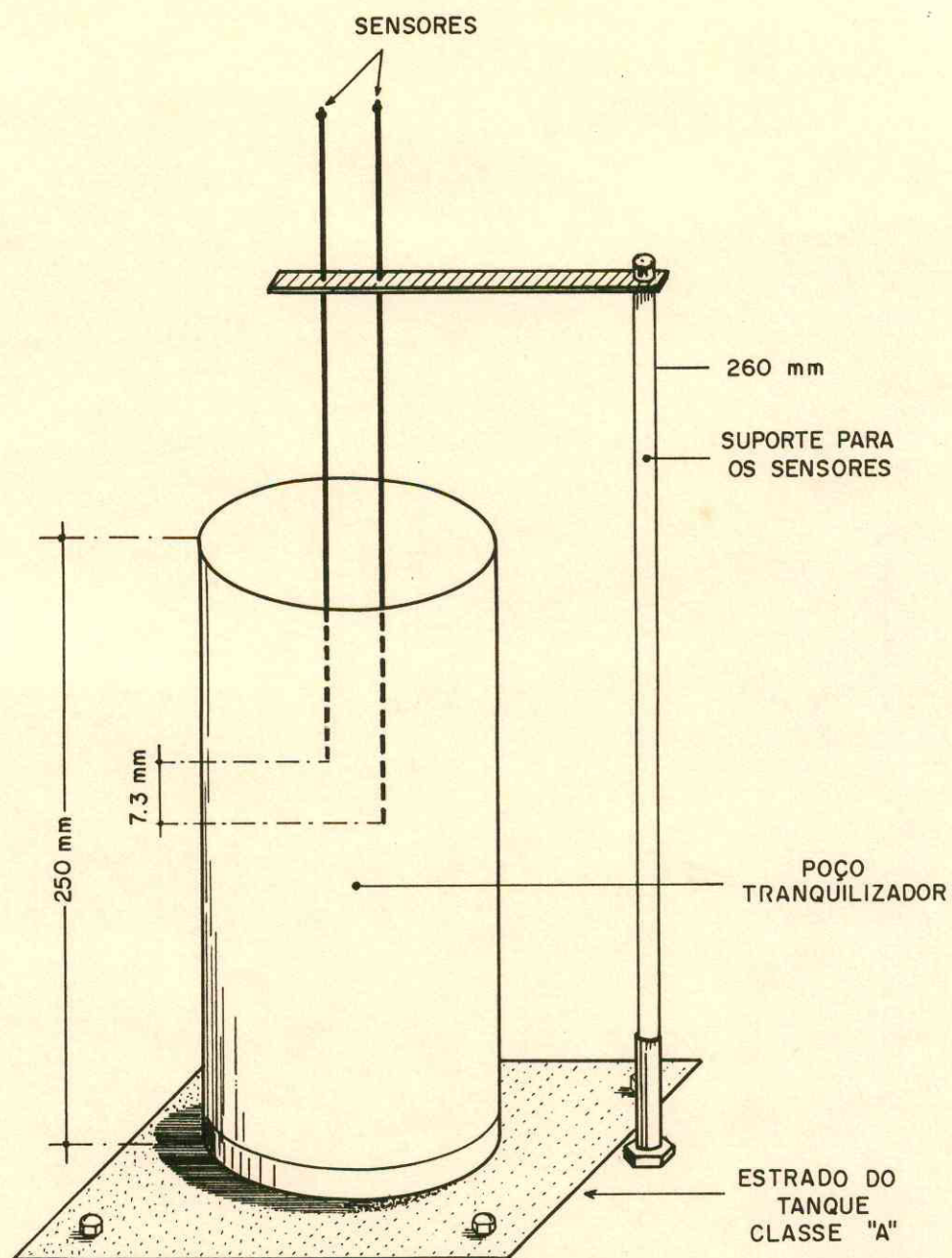


Figura 4 - Poço tranquilizador, externo ao tanque, com os sensores delimitando a altura da lâmina evaporada.

& NASCIMENTO, 1980).

O dispositivo elétrico-eletrônico foi ligado à bomba e a uma chave magnética de acionamento. Do mesmo para o poço tranquilizador externo partiam 3 (três) fios número 22, dos quais dois foram conectados aos sensores responsáveis pelo " envio da mensagem" ao dispositivo para funcionamento ou parada do sistema (um sensor no nível inferior e outro no nível superior, respectivamente). O terceiro, era um fio de terra ligado na parte externa do poço tranquilizador.

4.2 - Dados de Calibração do Dispositivo de Automa- tização.

4.2.1 - Determinação do volume de água para rea- bastecimento do tanque de evaporação.

A calibração do equipamento no campo foi feita em relação ao volume de água que seria evaporada entre a distância vertical dos dois sensores. Drenava-se a água do tanque através de uma torneira lateral até descobrir o sensor inferior quando a bomba era acionada. Após o reabastecimento, quando a água no tanque atingia o sensor superior e o sistema automaticamente era desligado, coletava-se a água em proveta graduada determinando-se assim o volume de

água que seria relacionada a altura de lâmina evaporada no tanque. Estas medições foram feitas várias vezes e em média obteve-se um volume de 9,30 l.

4.2.2 - Tempo e Vazão de reabastecimento do tanque de evaporação.

Após determinado o volume d'água correspondente a distância vertical entre os sensores (lâmina evaporada), procedeu-se, então, a determinação das vazões de reabastecimento. Conforme a variação de altura do dispositivo de reabastecimento (Figura 5) em relação ao nível do solo e de pressão, havia diferença entre vazões de reabastecimento. Contudo, como a pressão deveria manter-se constante durante o período de irrigação, e apenas variando a altura do sistema de reabastecimento, a diferença entre vazões obtida para os extremos, foi pequena, ou seja, em torno de 0,30 l/h, sendo a mínima de 3,30 l/h e a máxima de 3,60 l/h.

O dispositivo foi conectado a uma mangueira de 1/2" (pol.) acoplada à tubulação principal do sistema de irrigação. Quando o sistema era acionado simultaneamente acontecia a irrigação-abastecimento do tanque, momento em que o seu nível ia sendo completado. Ao atingir o sensor superior, automaticamente o sistema era desligado. A calibração desse dispositivo foi ajustado para que o tempo de irri-

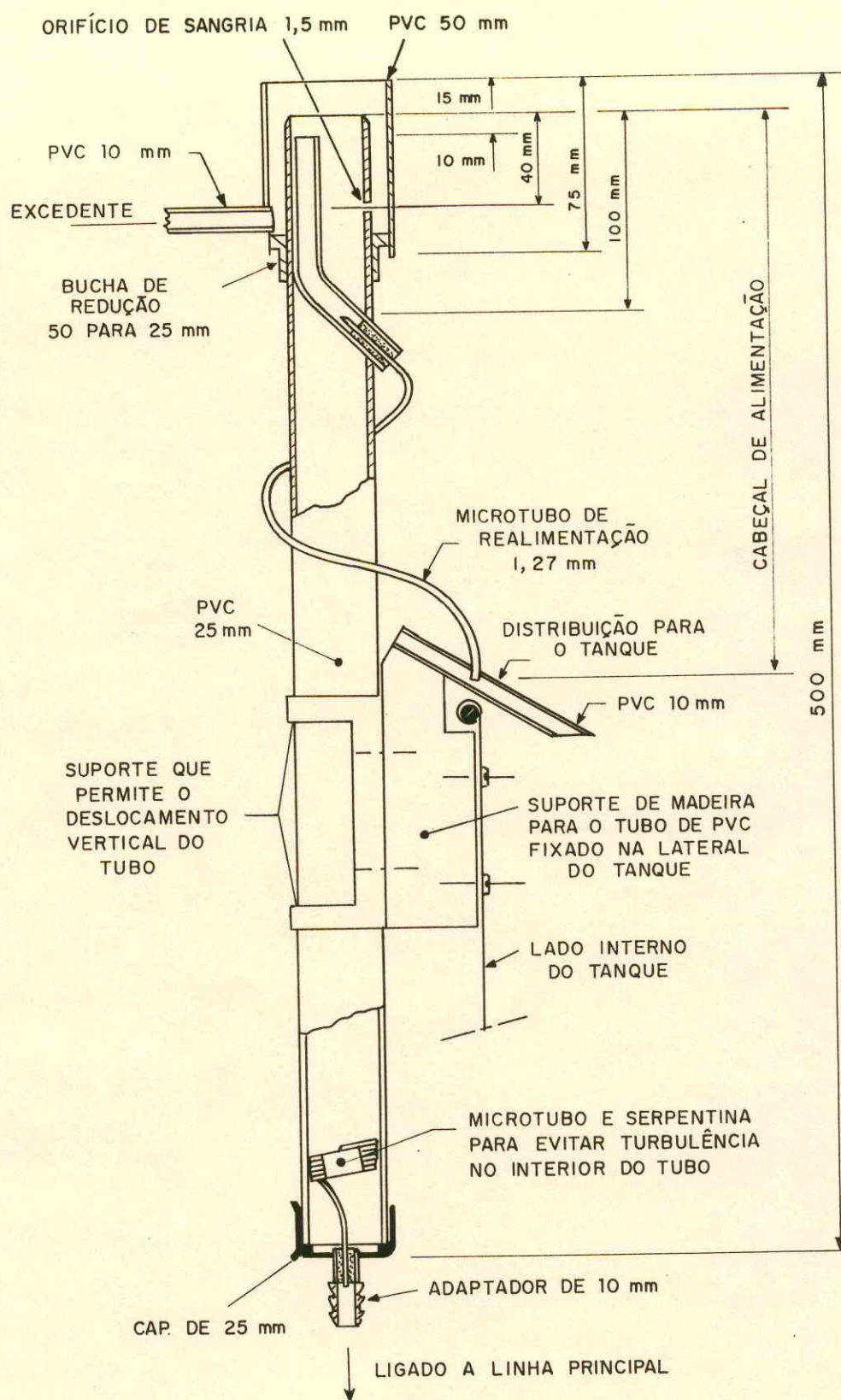


Figura 5 - Dispositivo para reabastecimento do tanque de Evaporação Classe "A".

gação fosse o menor possível, com o objetivo de diminuir as perdas por evaporação durante a irrigação (que não são consideradas no processo de automatização).

Com base na diferença vertical de 7,30 mm entre os sensores (lâmina diária evaporada), correspondente a um volume de 18,80 litros/planta/dia para satisfazer as necessidades hídricas da cultura , determinou-se o tempo de irrigação.

O volume de água no tanque determinado pela distância vertical entre os sensores foi de 9,30 l. A vazão máxima do dispositivo de reabastecimento foi de 3,60 l/h, o que determina um tempo de reabastecimento do tanque, até desligar automaticamente o sistema, de 2 horas e 35 minutos.

4.2.3 - Vazão dos Gotejadores.

A vazão de calibração dos gotejadores foi feita com base no tempo de reabastecimento do tanque evaporimétrico (2 horas e 35 minutos) para fornecer um volume de água de 18,80 litros/planta/dia. Assim, foi encontrado uma vazão de 7,30 l/h por gotejador, para que o sistema funcionasse integrado (reabastecimento-irrigação).

4.3 - Testes do Dispositivo de Automatização.

Para os testes do dispositivo, após instalação no campo e com a calibração já definida, foi simulado, através de drenagem da lâmina d'água do tanque de evaporação correspondente à distância vertical entre os sensores, o acionamento automático do sistema e início da irrigação (momento em que a lâmina d'água deixava de ficar em contato com o sensor inferior). Acionado o sistema de irrigação pelo dispositivo, o conjunto reabastecimento-irrigação em funcionamento integrado fazia a reposição da lâmina no tanque de evaporação até atingir o sensor superior, quando automaticamente o sistema era desligado.

Procedeu-se estes testes e verificou-se que o tempo de irrigação real era próximo ao calculado. Esta diferença foi em torno de 10 a 25 minutos para mais, ou seja, o tempo de irrigação real ficou entre 2 horas e 45 minutos e 3 horas.

A variação de tempo entre o calculado e o determinado foi decorrente da evaporação durante a irrigação, pois no momento em que se iniciava a irrigação até o seu final havia também uma lâmina evaporada que não era medida durante o período de irrigação mas incluída automaticamente, aumentando, assim, o tempo de irrigação.

Para minimizar esse efeito de evaporação, durante o período de irrigação, optou-se por uma vazão de reabaste-

cimento do tanque de evaporação maior, visto que quanto menor o tempo de irrigação, menor seriam as perdas por evaporação que não seriam computadas durante a irrigação.

4.4 - Monitoramento da Umidade do Solo para Determinação das Necessidades Hídricas da Cultura da Banana.

4.4.1 - Calibração da Sonda de Neutrons

Amostras de solo eram retiradas às profundidades de 25, 50, 75 e 100 cm, ao mesmo tempo em que faziam-se leituras com a sonda, às mesmas profundidades, com três repetições. Estas amostras eram levadas em estufa à temperatura de 110o C por 24 horas. Após estas determinações, correlacionou-se a umidade do solo com a contagem relativa obtida com a sonda e determinou-se as equações de regressão linear conforme Figuras 6, 7, 8 e 9, correspondente às Tabelas 2, 3, 4 e 5, respectivamente (anexo).

Com a sonda devidamente calibrada, determinou-se as necessidades hídricas da cultura da bananeira para o período de 09 a 29/12/90. Após e antes de cada irrigação eram feitas leituras, com a sonda, às profundidades de 25, 50, 75 e 100 cm, e por diferença era determinado o consumo de água pela cultura e percolação abaixo da profundidade efetiva do

sistema radicular.

4.4.2 - Determinação da Umidade do Solo com a Sonda de Neutrons.

As figuras 6, 7, 8 e 9 que correspondem às tabelas 2, 3, 4 e 5, respectivamente, apresentam as curvas de calibração obtidas por regressão linear, o que indica que há uma estreita relação entre a contagem de neutrons lentos (CR) e o conteúdo de água no solo (HOLMES, 1956). STOLZY & CAHOON (1957), em trabalho realizado para calibração de sonda de neutrons, acompanhando a umidade do solo em cultura de citrus, concluem que a simples calibração da sonda pode servir para vários tipos de solo, desde que sejam homogêneos.

Logo após a primeira irrigação, procedeu-se a leitura com a sonda de neutrons (CR) relativa às profundidades de 25, 50, 75 e 100 cm. Com a contagem relativa aplicada diretamente nas fórmulas para as respectivas profundidades, determinava-se o teor de umidade. Antes da irrigação seguinte, quando a lâmina, correspondente a altura de 7,30 mm, era evaporada, fazia-se novas determinações da umidade. Com a diferença após a irrigação e antes da irrigação seguinte determinava-se o consumo de água pela cultura.

A variação do teor de umidade após a irrigação e

antes de iniciar a seguinte, nos tubos de acesso 1 (um) e 5 (cinco), para as profundidades de 25, 50, 75 e 100 cm, respectivamente, eram mantidas quase que constantes, enquanto que para os de números 2 (dois), 3 (três) e 4 (quatro), havia uma maior variação no armazenamento, o que é explicado pela redistribuição da água no solo pelas suas características físicas em função da localização do gotejador.

SILVA, MENDES, CAMPOS & GOES (1977), utilizando um coeficiente de 0,55 para reposição da lâmina evaporada, que corresponde a 55 % da evaporação de um tanque " Classe A ", obtiveram uma evapotranspiração real de 3,99 mm/dia para a cultura da banana, com irrigação por superfície.

O teor de umidade para as baterias A e B, respectivamente, após e antes de cada irrigação mantiveram-se quase que constantes durante todo o período de acompanhamento das irrigações, sendo que para a bateria B, sempre foi mais elevado, fato esse que pode ser atribuído a uma maior movimento de água, ou seja, redistribuição lateral maior do que a vertical. Contudo, o fato de que logo após as irrigações eram feitas as medições com a sonda de neutrons, para determinação da umidade, devido o turno de rega, preestabelecido, ser bastante curto (um dia), encontrava-se teores de umidade médio sempre elevados em todo o perfil em estudo.

5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De acordo com os resultados obtidos com o experimento em condições de campo, pode-se concluir :

1 - O dispositivo para automatização em irrigação localizada, com base em tanque evaporimétrico, é de fácil manuseio, permitindo um pleno funcionamento integrado (irrigação-abastecimento). Pode-se fazer sua calibração em função da demanda evaporativa, para qualquer mês e momento, de forma que a lâmina aplicada supra as necessidades da cultura.

2 - O dispositivo é resistente, não complexo em sua construção, instalação e manutenção, requerendo um mínimo de mão de obra para condução da irrigação.

3 - Como este trabalho teve como principal finalidade testar em Laboratório e Campo, um dispositivo com base em tanque evaporimétrico capaz de automatizar um sistema de irrigação por gotejo, e o acompanhamento do teste em campo

para avaliar a necessidades hídricas da cultura da banana foi relativamente curto, sugere-se que o mesmo seja feito por um período mais longo, em outras culturas de ciclo curto, variando a lâmina de irrigação aplicada em função de suas exigência.

4 - Recomenda-se também, em outras pesquisas, objetivando uma melhor avaliação das necessidades hídricas das culturas, aumentar o turno de rega em 2 (dois) e 3 (três) dias, para verificar a redistribuição da água no solo. Com isso, tem-se um maior espaço de tempo para utilização da sonda de neutrons na determinação da variação do teor de umidade entre duas irrigações consecutivas.

5 - Para determinação da evapotranspiração real das culturas, é necessária a condução de experimentos em épocas que não ocorram precipitações, bem como a utilização da sonda de neutrons no acompanhamento da variação do teor de umidade do solo para maiores profundidades. Isso permite verificar-se, com maior precisão, o efeito da percolação profunda, componente este do balanço hídrico muito importante no que diz respeito à determinação da evapotranspiração real das culturas.

6 - LITERATURA CITADA

- AGUIAR, M. J. N. - Evapotranspiração em Feijão Comum (*Phaseolus vulgaris* L.) Estimada por Evaporímetros e Fórmulas Empíricas. Piracicaba, ESALQ/USP, 55 p., 1975 (Dissertação de Mestre).
- ASSIS, F. N. de - O Uso do Evapotranspirômetro no Estudo de Algumas Relações entre Evapotranspiração Medida e Estimada. Piracicaba, ESALQ/USP, 69 p., 1978 (Dissertação de Mestre).
- BACCHI, O. O. S. & REICHARDT, K. - A Sonda de Neutrons e Seu Uso na Pesquisa Agronômica. 83 p.
- BELTRAME, L & TAYLOR, J. G. - Uso da Sonda de Neutrons para Determinação da Umidade do Solo no Campo. Rev. Bras. Ci. Solo 4 : 5-61., 1980.
- BERNARDO, S. - Manual de Irrigação. Viçosa, UFV, 1982. 456 p.
- BOVEE, A. G. J. - Lysimeter Studies Concerning the

Evapotranspiration of Bananas in Lebanon. Landouwk. Tijdschr., 87 (7) 174-180, jul. 1975.

CASTRO, P. T. de - Evapotranspiração Atual e Potencial de uma Cultura de Milho (*Zea mays*, L.). Piracicaba, ESALQ/USP. 61 p., 1978 (Dissertação de Mestre).

DOORENBOS, J. & PRUITT, W. D. - Crop Water Requirements. Revised, Roma, FAO, 144 p., 1977 (Irrigation and Drainage Paper, 24).

GARDNER, W. H. - Methods of Soil Analysis. Am. Soc. Agron., Inc. Publisher, Madison, Wisconsin. 1965.

GLASSTONE, E. & EDLUND, M. C. - The Elements of Nuclear Reactor Theory (van Nostrand : New York), 1957.

GOLDBERG, S. D. - Técnicas e Métodos para Uso Eficiente del Agua en la Agricultura. Simpósio México-Brasil en Enfoque Integral de la Utilización del Agua. México, 1974.

GOODSPEED, M. J. - Soil Water Assessement by the Neutron Method. CSIRO, Austrália, 140 p., 1981.

GRANT, D. R. - Comparison of Evaporation Measurements Using Differents Methods. Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. 101(429) : 543 - 550., 1975.

GRASSI, J. G. - Estimación de los Usos Consuntivos de Agua y Requerimientos de Riego con Fines de Formulación y Deseño de Proyectos. CIDIAT. Documento nº 53, 136 p., 1968.

GREACEN, E. L. - Soil Water Assessement by the Neutron Method. CSIRO, Austrália, 140 p., 1981

HARGREAVES, G. H. - Potential Evapotranspiration and Irrigation Requirements for Northeast Brazil. Salt Lake City, Utha State University/USAID. 55 p., 1974

HOLMES, J. W. - Measuring Soil Water Content and Evaporation by the Neutron Scattering Method. Neth. J. Agric. Sci. 4, 30 - 48, 1956.

HUSCHKE, R. E. - Glossary of Meteorology. Boston, Am. Meteorol. Soc. 638 p., 1970.

ISRAELSEN, O. W. & HANSEN, V. E. - Princípios e Aplicaciones del Riego. Barcelona. 2ª. Edición. 395 p., 1965.

KELLER, J. & KARMELI, D. - Trickle Irrigation Design. Rain Bird. California. 135 p., 1975.

KITCHING, R. - Water Use by Tree Plantations. J. Hydrology 5, 206 - 13., 1967.

- McCOWN, R. L. - An Evaluation of the Influence of Available Soil Water Storage Capacity on Grown Season Length and Yield of Tropical Pasture Using Simple Water Balance Models. *Agric. Meteorology*, 11, 53 -62., 1973.
- OLITTA, A. F. L. - Os Métodos de Irrigação. São Paulo, Livraria Nobel S.A., 267 p., 1977.
- PENMAN, H. L. - Evaporation. An Introductory Survey. *Neth. Uth. Agric. Exp. Sta., Bull.*, 426. 67 p., 1956.
- REICHARDT, K. - Processos de Transferência no Sistema Solo-Planta-Atmosfera. São Paulo, Fundação Gargill, Piracicaba. CENA. 286 p., 1975.
- ROSE, C. W. & STERN, W. R. - Determination of Withdraval of Water from Soil by Crops as a Function of Depth and Time. *Aust. J. Soil Res.*, 5: 11 - 19., 1967.
- SAUNDERS, L. C. U. ; CASTRO, P. T. de ; BEZERRA, F. M. L. & PEREIRA, A. L. - Evapotranspiração Atual da Cultura do Feijão-de-Corda (*Vigna sinensis* (L) Savl) na Microregião Homogênea de Quixeramobim. Apresentado no XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Fortaleza-Ceará. 14 p., 1984.
- SHAW, R. H. & LAING, D. R. - Plant Environment and

Efficient Water Use. Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin. 295 p., 1965.

SILVA, J. F. ; CAMPOS, G. M. ; MENDES, W. G. R. & GOES, E.S. de - Estudo da Evapotranspiração em Bananeira, Cultivar Nanicaço (Musa cavendishii LAMBERT). FRUITS, 32 (12): 731 -737, 1977.

SILVA, Z. R. - Climas do Estado do Ceará. Cien. Agron., Fortaleza 18 (2): 89 -95., 1987.

STERN, W. R. - Evapotranspiration of Safflower at Three Densities of Sowing. Aust. J. Agric. Res., 16: 961 - 71., 1965.

STOLZY, L. H. & CAHOON, G. A. - A Field-Calibrated Portable Neutron Rate Meter for Measuring Soil Moisture in Citrus Orchards. Soil Sci. Soc. Proc. 24: 571 - 5., 1957.

TANNER, G. B. - Energy Balance Approach to Evapotranspiration from Crops. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 24: 1 - 9., 1960.

TANNER, G. B. - Irrigation of Agricultural Lands. Am. Soc. Agron., Publisher Madison, Wisconsin, 1.180 p., 1967.

TAYLOR, H. M. & KLEPPER, B. - Water Uptake by Cotton

Root Systems: An Examinations of Assumptions in Single Root Model. Soil Sci. 120: 57 - 67., 1975.

THORNTHWAITE, C. W. & HARE, F. K. - The Loss of Water to the Air. Meteorol. Monographs 6 : 163 - 170., 1965.

TUBELIS, A. & NASCIMENTO, F. J. L. - Meteorologia Descritiva - Fundamentos e Aplicações Práticas. Livraria Nobel S.A., 374 p., 1980.

van BAVEL, C. H.; STIRK, G. B. & BRUST, K. J. - Hydraulic Properties of a Clay Loam Soil an the Field Measurement of Water Uptake by Roots . 1. Interpretation of Water Content and Pressure Profiles. Soil Sci. Soc. Am. Proc: 32: 310 - 317., 1968.

VERMEIREN, L. & JOBLING, G. A. - Localized Irrigation, Roma. FAO. 203 p., 1984 (Irrigation and Drainage Paper, 36).

WILLIAM, J.; HOLMES, J. W.; WILLIAMS, B. G. & WINKWORTH, R. E. - Soil Water Assessement by the Neutron Method. CSIRO, Austrália, 140 p., 1981.

ANEXOS

TABELA 2 - Dados para construção de uma curva de calibração de uma sonda de neutrons em um Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico A franco textura argilosa ou Oxic Haplustalfs, em Fortaleza-Ceará. Profundidade 25 cm.

Nº Ponto	Conteúdo de Umidade (cm ³ .cm ⁻³)	Contagem Média no Solo (Cpm)	Contagem Relativa *(CR)
1	0,192	0519	0,653
2	0,171	0450	0,566
3	0,150	0429	0,540
4	0,144	0427	0,537
5	0,135	0414	0,521
6	0,134	0390	0,491
7	0,120	0341	0,429
8	0,110	0338	0,425
9	0,045	0169	0,213

* Contagem Padrão na própria blindagem de proteção, por 4 (quatro) minutos após tempo de estabilização, foi de 795.

TABELA 3 - Dados para construção de uma curva de calibração de uma sonda de neutrons em um Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico A franco textura argilosa ou Oxic Haplustalfs, em Fortaleza-Ceará. Profundidade 50 cm.

Nº Ponto	Conteúdo de Umidade (cm ³ .cm ⁻³)	Contagem Média no Solo (Cpm)	Contagem Relativa *(CR)
1	0,216	0640	0,805
2	0,205	0631	0,794
3	0,200	0602	0,757
4	0,199	0594	0,747
5	0,196	0589	0,741
6	0,188	0570	0,717
7	0,174	0534	0,672
8	0,176	0535	0,673
9	0,099	0355	0,447

* Contagem Padrão na própria blindagem de proteção, por 4 (quatro) minutos após tempo de estabilização, foi de 795.

TABELA 4 - Dados para construção de uma curva de calibração de uma sonda de neutrons em um Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico A franco textura argilosa ou Oxic Haplustalfs, em Fortaleza-Ceará. Profundidade 75 cm.

Nº Ponto	Conteúdo de Umidade (cm ³ .cm ⁻³)	Contagem Média no Solo (Gpm)	Contagem Relativa *(CR)
1	0,258	0840	1,057
2	0,254	0835	1,050
3	0,242	0819	1,030
4	0,242	0819	1,030
5	0,249	0820	1,031
6	0,239	0809	1,018
7	0,228	0774	0,974
8	0,237	0790	0,994
9	0,175	0663	0,834

* Contagem Padrão na própria blindagem de proteção, por 4 (quatro) minutos após tempo de estabilização, foi de 795.

TABELA 5 - Dados para construção de uma curva de calibração de uma sonda de neutrons em um Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico A franco textura argilosa ou Oxic Haplustalfs, em Fortaleza-Geará. Profundidade 100 cm.

Nº Ponto	Conteúdo de Umidade (cm ³ .cm ⁻³)	Contagem Média no Solo (Gpm)	Contagem Relativa *(GR)
1	0,289	0869	1,093
2	0,286	0852	1,072
3	0,282	0849	1,068
4	0,277	0829	1,043
5	0,283	0851	1,070
6	0,269	0819	1,030
7	0,262	0798	1,004
8	0,231	0777	0,977
9	0,185	0707	0,889

* Contagem Padrão na própria blindagem de proteção, por 4 (quatro) minutos após tempo de estabilização, foi de 795.

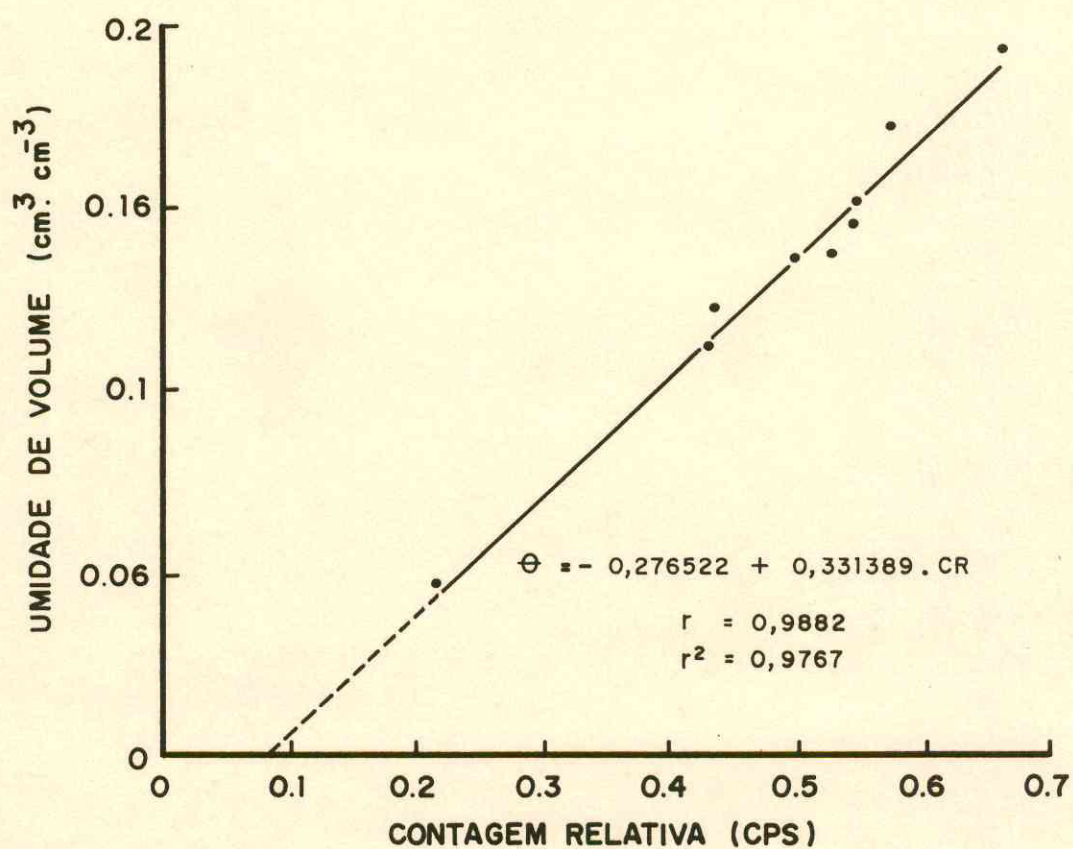


Figura 6 - Curva de calibração da sonda de neutrons em um Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico A franco textura argilosa. Profundidade 25 cm.

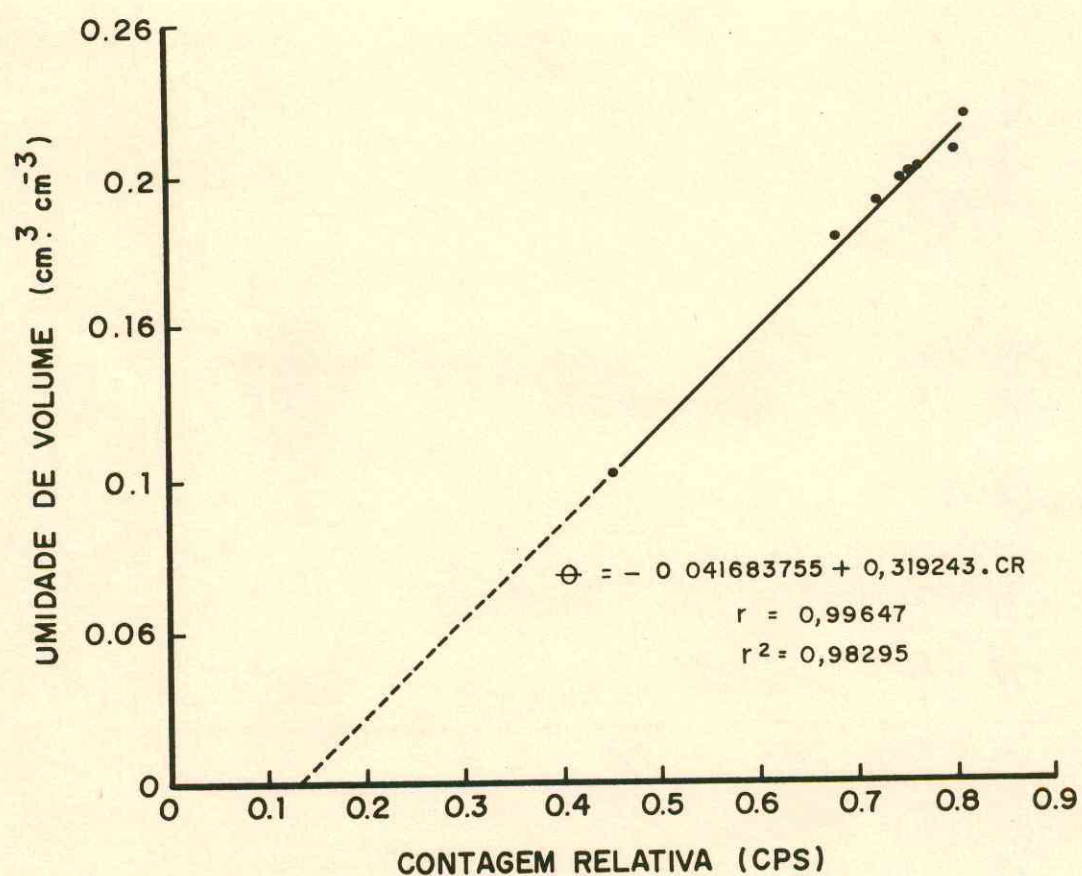


Figura 7 - Curva de calibração da sonda de neutrons em um Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico A franco textura argilosa. Profundidade 50 cm.

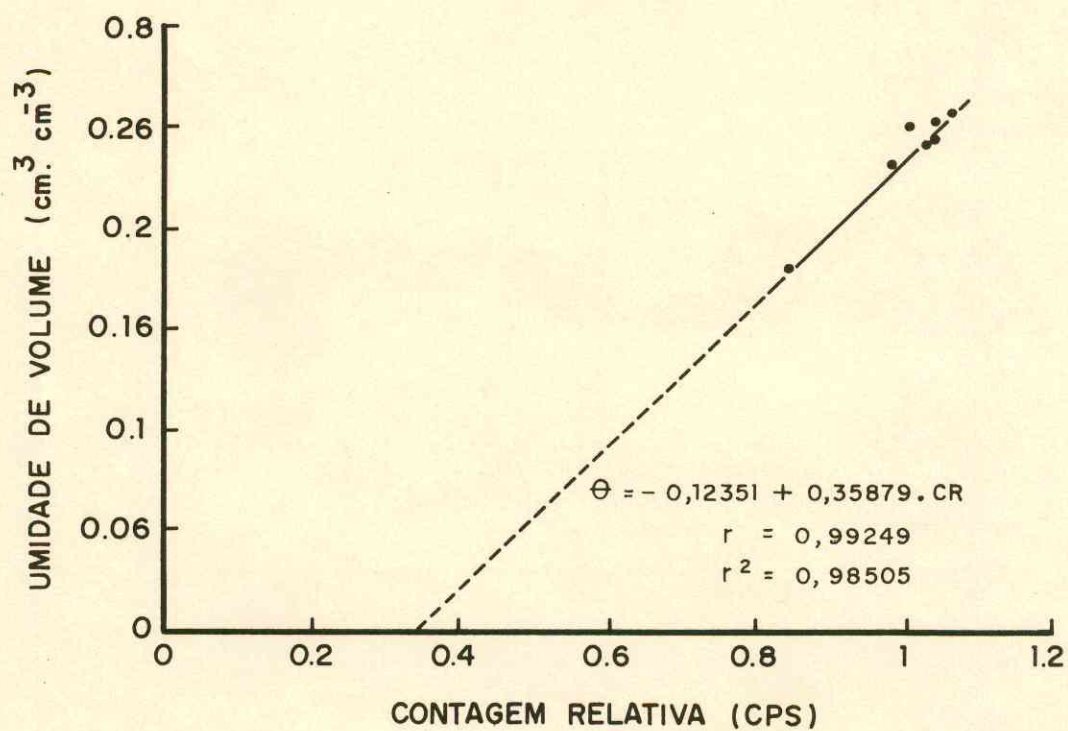


Figura 8 - Curva de calibração da sonda de neutrons em um Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico A franco textura argilosa. Profundidade 75 cm.

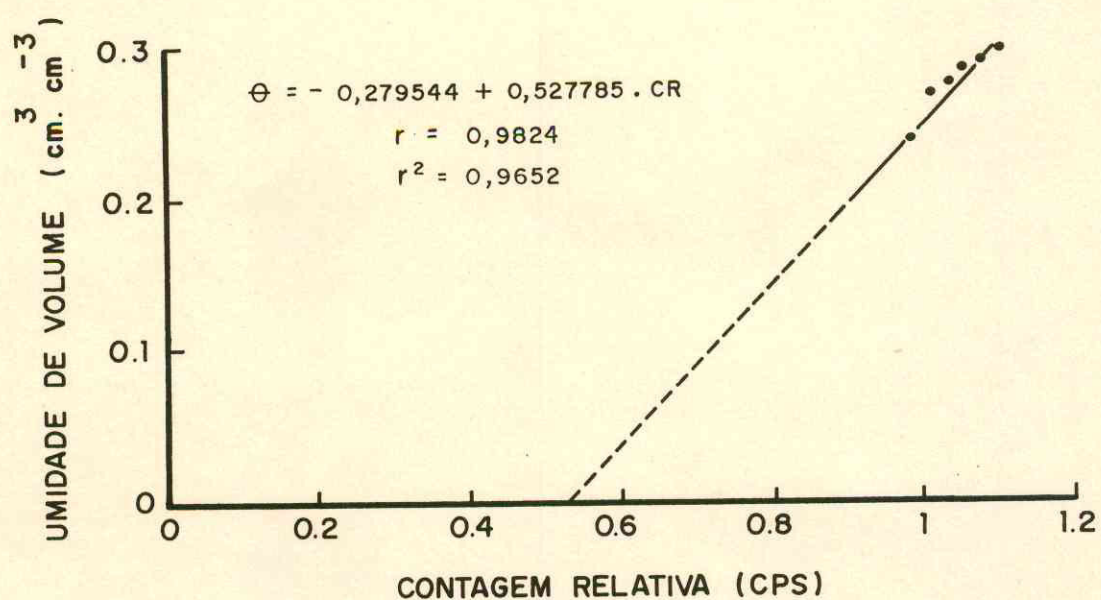


Figura 9 - Curva de calibração da sonda de neutrons em um Podzólico Vermelho Amarelo Eutrótico A franco textura argilosa. Profundidade 100 cm.

QUADRO 1 - Relação de Componentes Utilizados na Construção
do Detector de Nível.

01 Transformador 220/2 x 9V ; Im = 250 mA

02 Diodos Retificadores : 1N4007

02 Capacitores Eletrolíticos: 47uF ; 25V

01 Capacitor de Poliéster : 10nF

02 Capacitores de Mica : 100nF e 220pF

06 Resistores : 47K (3); 4K7 ; 1K18 e 150K

01 Transistor de Sinal : BC548

01 Diodo de Sinal : 1N914

02 Circuitos Integrados : 4093 (Schmitt
Trigger) e TIL 113 (Fotoacoplador)

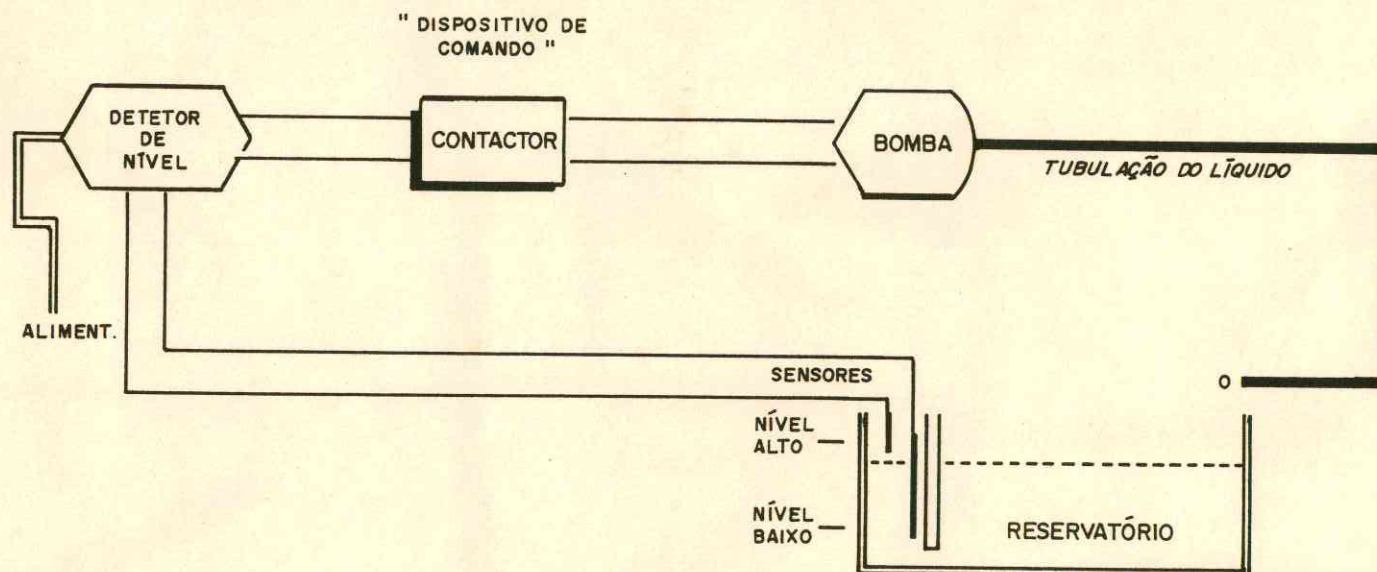
01 Triac : TIC 226-E

01 Fusível : 250mA

01 Porta Fusível

01 Chave ON-OFF : 250V : 1A

01 Dissipador de Aleta



Quadro 02 :

Esquema de Ligação do Detector de Nível à Bomba e Sensores Sensíveis ao Nível da Água.