

DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO CONSÓRCIO FEIJÃO - MI-
LHO - ALGODÃO PELO MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO E ATRAVÉS DE
FÓRMULAS EMPÍRICAS SOB REGIME DE IRRIGAÇÃO POR SULCOS

ONEIDE RODRIGUES MARCA

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DO CURSO
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO
IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

FORTALEZA - 1985

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 da ética científica.

Oneide Rodrigues Marca

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 06/12/05

Prof. Luis Carlos Uchôa Saunders, Doutor
Orientador da Dissertação

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

Prof. Paulo Teodoro de Castro, Mestre
Conselheiro

Aos meus queridos pais EULÁLIO e DIVA, pelo amor e dedicação.

Aos meus irmãos ODACIR, ODAIZA e DIVA, pelo apoio e carinho recebidos.

MEU RECONHECIMENTO

Aos meus amores
IVO, CAMILA e JULIANA e
com saudade imensa do
meu pequeno VINICIUS.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela força espiritual recebida durante o Curso de Mestrado.

Ao Professor LUIS CARLOS UCHÔA SAUNDERS, pela orientação segura e amigável no desenvolvimento deste trabalho.

Aos Professores MOISÉS CUSTÓDIO SARAIVA LEÃO e PAULO TEODORO DE CASTRO, pela colaboração e sugestões apresentadas.

Ao Engenheiro Agrônomo FRANCISCO MARCUS LIMA BEZERRA, pelo apoio e amizade na implantação e desenvolvimento nos trabalhos de campo.

Aos demais Professores do Departamento de Engenharia Agrícola, pela amizade e ensinamentos recebidos.

À Faculdade de Ciências Agrárias do Pará e a Universidade Federal do Ceará, através do Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade oferecida.

À Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de estudo concedidas.

Ao Programa de Desenvolvimento Científico e Tecnológico para o Nordeste - PDCT/CE-01, pela ajuda financeira para execução dos trabalhos de campo.

Às amigas FRANCISCA WILLA DE SOUSA DA SILVA e MARIA ELMA DE CARVALHO, pela amizade e colaboração nos serviços datilográficos.

Aos colegas do Curso, pelo apoio e amizade sempre presentes no dia a dia.

E a todos que, direta e indiretamente contribuíram para o êxito deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
<u>LISTA DE TABELAS</u>	viii
<u>LISTA DE FIGURAS</u>	x
<u>LISTA DE ANEXO</u>	xiii
<u>RESUMO</u>	xiv
<u>ABSTRACT</u>	xvi
1 - <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2 - <u>REVISÃO DE LITERATURA</u>	4
3 - <u>MATERIAL E MÉTODOS</u>	21
3.1 - <u>Caracterização do experimento</u>	21
3.2 - <u>Manejo do consórcio</u>	24
3.3 - <u>Metodologia</u>	24
3.3.1 - Fundamentos do método do balanço hídrico ..	25
3.3.2 - Procedimento para determinação dos componen <u>tes</u> do balanço hídrico	28
3.3.3 - Evapotranspiração potencial através da medi <u>da</u> direta da intensidade de evaporação do tanque "Classe A"	39
3.3.4 - Evapotranspiração atual	40
3.3.5 - Coeficiente de cultura	40

3.3.6 - Relação entre a evapotranspiração atual e a evapotranspiração potencial estimada através das fórmulas empíricas de BLANEY & CRIDDLE (1950) e SILVA <u>et alii</u> (1978)	41
4 - <u>RESULTADOS E DICUSSÃO</u>	43
4.1 - <u>Uso consuntivo do consórcio</u>	43
4.2 - <u>Elementos básicos de irrigação do consórcio</u> .	69
5 - <u>CONCLUSÕES</u>	72
6 - <u>RECOMENDAÇÕES</u>	74
7 - <u>LITERATURA CITADA</u>	75

LISTA DE TABELAS

TABELA		Página
1	Dados da estação agrometeorológica da Fazenda Experimental do Vale do Curu (Pentecoste-CE - anos de 1966 - 1980)	22
2	Características físicas e químicas do solo.	23
3	Componentes do balanço hídrico do consórcio feijão, milho e algodão na profundidade de 0-30 cm	44
4	Componentes do balanço hídrico do consórcio feijão, milho e algodão na profundidade de 0-60 cm	45
5	Componentes do balanço hídrico do consórcio feijão, milho e algodão na profundidade de 0-90 cm	46
6	Componentes do balanço hídrico do consórcio feijão, milho e algodão na profundidade de 0-120 cm	47
7	Coefficientes do tanque "Classe A", de cultura e de irrigação em função do tanque para o consórcio feijão, milho e algodão nos nove (9) períodos considerados no balanço ...	50
8	Valores de Kc para as fórmulas empíricas de	

TABELA

Página

	BLANEY & CRIDDLE (1950) e SILVA <u>et alii</u> (1978) e tanque "Classe A" obtidos a partir da ETA calculada pelo balanço hídrico	67
9	Elementos básicos de irrigação obtidos du- rante o balanço hídrico	70

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS	Página
1 Curva característica de um solo aluvial da Fazenda Experimental do Vale do Curu - Profundidade 15 cm	30
2 Curva característica de um solo aluvial da Fazenda Experimental do Vale do Curu - Profundidade 45 cm	31
3 Curva característica de um solo aluvial da Fazenda Experimental do Vale do Curu - Profundidade 75 cm	32
4 Curva característica de um solo aluvial da Fazenda Experimental do Vale do Curu - Profundidade 105 cm	33
5 Curva característica de um solo aluvial da Fazenda Experimental do Vale do Curu - Profundidade 135 cm	34
6 Valores em mm/dia da evaporação do tanque "Classe A" (ECA), evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração atual (ETA).	52
7 Coeficiente de cultura (Kc) do consórcio feijão, milho e algodão em regime de irrigação	54

FIGURA

Página

8	Curvas de regressão linear da evapotranspiração atual acumulada do consórcio, ETA (mm) e da evapotranspiração potencial acumulada, ETP (mm)	55
9	Curva de regressão linear do coeficiente de irrigação (K_i) em função do coeficiente de cultura (K_c) para o consórcio	57
10	Variação diária do conteúdo de água (θ) e potencial matricial (Ψ_m) na profundidade (Z) de 0 a 135 cm no 1º período	58
11	Variação diária do conteúdo de água (θ) e potencial matricial (Ψ_m) na profundidade (Z) de 0 a 135 cm no 2º período	59
12	Variação diária do conteúdo de água (θ) e potencial matricial (Ψ_m) na profundidade (Z) de 0 a 135 cm no 3º período	60
13	Variação diária do conteúdo de água (θ) e potencial matricial (Ψ_m) na profundidade (Z) de 0 a 135 cm no 4º período	61
14	Variação diária do conteúdo de água (θ) e potencial matricial (Ψ_m) na profundidade (Z) de 0 a 135 cm no 5º período	62
15	Variação diária do conteúdo de água (θ) e potencial matricial (Ψ_m) na profundidade (Z) de 0 a 135 cm no 6º período	63

FIGURA		Página
16	Variação diária do conteúdo de água (θ) e potencial matricial (Ψ_m) na profundidade (Z) de 0 a 135 cm no 7º período	64
17	Variação diária do conteúdo de água (θ) e potencial matricial (Ψ_m) na profundidade (Z) de 0 a 135 cm no 8º período	65
18	Variação diária do conteúdo de água (θ) e potencial matricial (Ψ_m) na profundidade (Z) de 0 a 135 cm no 9º período	66
19	Valores de Kc para as fórmulas empíricas de BLANEY & CRIDDLE, SILVA <u>et alii</u> e tanque "Classe A" obtidos a partir da ETA calculada pelo balanço hídrico	68

LISTA DE ANEXO

TABELA

Página

1	Valores mensais dos elementos climáticos em pregados nas fórmulas empíricas	83
---	--	----

RESUMO

Este trabalho foi conduzido na Fazenda Experimental do Vale do Curu, pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, localizada no município de Pentecoste-CE.

Usando a metodologia do balanço hídrico, sugerida por ROSE & STERN (1967), foi determinada a evapotranspiração atual (ETA) do consórcio feijão, milho e algodão, para todo o ciclo vegetativo, sob regime de irrigação em um solo Aluvial Eutrófico.

Os resultados da ETA foram correlacionados com os dados de evapotranspiração potencial, obtidos em função da evaporação do tanque "Classe A", conforme recomendação da FAO (1975); e com dados estimados pelo emprego das fórmulas de BLANEY & CRIDDLE (1950) e SILVA et alii (1978).

A evapotranspiração atual do consórcio atingiu um valor médio de 6,33 mm/dia, variando de 4,24 a 5,10 mm/dia, no início e final do ciclo respectivamente, e atingindo um máximo de 9,46 mm/dia, no período crítico, ou seja na floração e frutificação.

Foram, ainda, determinados os coeficientes de cultura (K_c) e de irrigação (K_i) para os períodos estudados, sendo o K_c médio de 1,05 e o K_i médio de 0,75.

Os valores de K_c , obtidos com as fórmulas empíricas,

se mostraram bem consistentes com os valores apresentados pelo balanço hídrico, sendo que a de BLANEY & CRIDDLE(1950) foi a que se revelou mais coerente.

ABSTRACT

This work was conducted at the "Curu Valley Experimental Farm" of the Federal University of Ceará, in the Northeast Brazil.

The water balance method, according to ROSE & STERN (1967), was used to determine the evapotranspiration (ETA) of intercropped cowpeas, corn and cotton, for the life cycle of the crops, under irrigation, in an alluvial eutrofic soil.

The evapotranspiration (ETA) data were correlated with the potential evapotranspiration data obtained through a class "A" pan, from the us weather Bureau, and with data obtained by the equations of BLANEY & CRIDDLE (1950) and SILVA et alii (1978).

The mean evapotranspiration value for the polyculture was 6.33 mm/day, ranging from 4.24 mm/day for the begining of the crops cycle to 5.10 mm/day at the end of the cycle; the maximum ETA value was 9.46 mm/day, for the critical stages of the crops (flowering and fruiting).

The crop coefficient (K_c) and the irrigation coefficient (K_i) were also determined, with average values of 1.05 for K_c and 0,75 for K_i .

The values of K_c determined with the empirical equations, mainly by the BLANEY & CRIDDLE equation, were

very consistent with the values determined by the water
balance method.

1 - INTRODUÇÃO

A região semi-árida do Nordeste do Brasil, é formada de 51% do seu território correspondendo a 1,6 milhões de km². Nessa área, a pluviosidade situa-se entre 250 - 800 mm, as chuvas são distribuídas irregularmente e a evaporação chega a 2.000 mm/ano. O fator água é, em consequência, escasso, apesar das condições favoráveis de luminosidade, temperatura e muitos solos com boa capacidade de produção.

Assim, as pesquisas têm-se orientado na superação da escassez de água, sendo desenvolvidos no semi-árido nordestino vários estudos no sentido de melhor utilização da água dos rios permanentes e temporários, da captação de água do sub-solo, da coleta de água em pequenos açudes, do aperfeiçoamento das técnicas de irrigação, do consórcio de culturas para diminuir os riscos de produção e de comercialização, etc.

Mais especificamente no que se refere ao consórcio de culturas, acredita-se que a irregularidade ou insuficiência das chuvas, uma das principais causas das frustrações de safras no semi-árido, pode ser solucionada pelo desenvolvimento da chamada "lavoura seca", ou seja, o cultivo de plantas que têm baixos níveis de consumo de água.

Desta forma, o sistema de cultivos em consórcio passou a caracterizar a agricultura dessa região, constituin-

do-se a prática da consorciação num valioso recurso para garantir alguma produção diante da incerteza das condições climáticas.

Acresça-se, por outro lado, que a estiagem, em maior ou menor graus, é antes de tudo um problema de produtividade para o grande e médio produtor. Quando se trata de pequeno produtor, entretanto, a estiagem é uma questão de sobrevivência, motivo pelo qual o sistema de cultivos em consórcio, ganha proporções inestimáveis no campo político-social.

Recentemente, intensificou-se no semi-árido a utilização de pequenos açudes em pequenas propriedades, para captação de água de chuva a ser usada em irrigação complementar.

Sabe-se, todavia, que esses reservatórios estão sujeitos à intensa evaporação, o que reduz sobremaneira o aproveitamento agrícola da água oriunda desses açudes.

O conhecimento das necessidades hídricas da cultura consorciada é um dado de importância para o planejamento da irrigação suplementar, utilizando-se a água armazenada em pequenos reservatórios. Não foi encontrado na literatura especializada nenhum estudo à respeito de uso consuntivo de culturas consorciadas.

Esta pesquisa se propõe a determinar a evapotranspiração atual do consórcio feijão, milho e algodão, através do método do balanço hídrico e de fórmulas empíricas, sob regime de irrigação por sulcos, como também, determinar os

elementos de irrigação do consórcio para uma dada condição de umidade do solo, na Fazenda Experimental do Vale do Curru, no município de Pentecoste-Ceará.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

A água é um fator fundamental na produção vegetal, e sua ausência, ou excesso, afeta de maneira decisiva o desenvolvimento das plantas.

O consumo de água pelos cultivos agrícolas compreende a água perdida através das plantas (transpiração e gutação), a água da superfície do solo, e a água retida nos tecidos vegetais (REICHARDT, 1975).

Segundo ROSENBERG (1974), citado por ALBÉRIO (1979), do total de água extraída do solo pelas plantas, apenas 1% é utilizado nas atividades metabólicas, sendo o restante perdido para a atmosfera, sob a forma de vapor d'água, no processo da transpiração.

No entanto, o consumo de água pelos cultivos agrícolas normalmente se refere apenas à água perdida pela transpiração, ou a água perdida pela evaporação da superfície do solo. Quando ambos ocorrem simultaneamente, dá-se ao fenômeno o nome de evapotranspiração. Esta perda de água, que ocorre por ambos os processos (transpiração e evaporação), é um parâmetro importante no ciclo hidrológico, especialmente nas áreas vegetadas (REICHARDT, 1975).

A evapotranspiração compreende as seguintes fases:

- (a) fluxo de água no perfil de solo, em direção à sua superfície e à zona de absorção radicular;

- (b) fluxo de água do sistema radicular às superfícies foliares;
- (c) remoção do vapor d'água por fluxos turbulentos, citado por CASTRO (1979).

A evapotranspiração de uma cultura é afetada por vários elementos, que podem ser agrupados em fatores climáticos, fatores do solo e fatores da planta (LEMON et alii, 1957; SLATIER & McILROY, 1961), citados por ASSIS (1978). Dentre os fatores climáticos estão incluídos a radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar, precipitação, etc.

A evapotranspiração potencial (ETP) estimada a partir de dados climáticos, é definida segundo HARGREAVES, (1974), como a quantidade de água transpirada por uma cultura, com superfície totalmente coberta de vegetação verde, densa, rasteira em crescimento ativo e com suprimento de água contínuo. Então, em condições de ótima disponibilidade de água no solo, a ETP seria apenas uma função das condições meteorológicas. Destas condições, a radiação solar é, sem dúvida, a mais importante (BERLATO & MOLION, 1981). Entretanto, sempre que houver restrições quanto à umidade do solo e/ou à cobertura vegetal, a evapotranspiração é denominada atual (ETA) ou real.

Além dos fatores climáticos, a evapotranspiração é, também, influenciada pela própria cultura, segundo o estágio e seu nível de desenvolvimento; e pelos fatores do solo, tais como: fertilidade, conteúdo de água do solo, qualidade da água de irrigação e outros (ISRAELSEN & HANSEN,

1965, AL-KHAFAF et alii, 1978).

A determinação da evapotranspiração é um problema dos vários ramos da ciência que lidam com o sistema solo-planta-atmosfera; e na atualidade, há vários métodos para a sua determinação. Esses métodos se baseiam em sólidos princípios físicos como: a transferência do vapor d'água na camada limite ou o balanço de energia; a medida direta de evaporação de uma superfície livre de água, e as fórmulas baseadas em dados meteorológicos, quando disponíveis (GRASSI, 1968).

Como o clima tem uma influência importante sobre a quantidade de água evapotranspirada, muitos métodos têm sido desenvolvidos para prever a evapotranspiração pelas informações climatológicas (JENSEN, 1973).

Segundo TANNER (1968), os métodos de estimativa da evapotranspiração são representados por três principais classes:

- (a) métodos micrometeorológicos;
- (b) métodos de balanço hídrico;
- (c) métodos empíricos.

Os métodos micrometeorológicos são os mais precisos e eficazes na estimativa da evapotranspiração potencial. Entretanto, para a sua utilização, se requer instrumental sofisticado, pessoal especializado e uma superfície vegetal homogênea e relativamente grande.

Os métodos do balanço hídrico dividem-se basicamente

em dois: um que utiliza o lisímetro na estimativa dos processos envolvidos no balanço, e outro em que a estimativa é realizada diretamente num volume de controle de solo, devidamente instrumentado. A utilização do lisímetro, possibilita medições mais acuradas do uso da água pelo cultivo, em períodos relativamente curtos. BERNARDO (1982) considera o lisímetro como sendo o método mais preciso para a determinação da evapotranspiração, desde que seja instalado corretamente.

O uso do lisímetro na calibração das fórmulas empíricas, empregadas na estimativa da evapotranspiração, são também recomendados por TANNER (1968). No entanto, as dificuldades encontradas, principalmente na construção e instalação, limitam seu emprego.

Um outro tipo de lisímetro foi proposto por THORNTHWAITE em 1945 (MATHER, 1954), citado por ASSIS (1978), denominado evapotranspirômetro, que em síntese, é um instrumento para medida da evapotranspiração potencial.

X O método do balanço hídrico, num volume de controle de solo, tem sido apresentado por diversos autores (ROSE & STERN, 1967; REICHARDT, 1975, SAUNDERS et alii, 1984). Os componentes deste método, precipitação, irrigação, deflúvio superficial, percolação profunda, variação do armazenamento de água do solo e evapotranspiração, são apresentados em uma equação geral de balanço de massa. X

X Quanto aos métodos empíricos empregados na estimativa da evapotranspiração, encontram-se os evaporímetros, que K

são bons indicadores dos requerimentos hídricos das culturas. Entre eles, o tanque Standard tipo A, do Serviço Meteorológico dos Estados Unidos da América do Norte, é o mais empregado universalmente. Este evaporímetro possui 1,20 m de diâmetro e 0,25 m de profundidade, sendo construído de chapa galvanizada com espessura de 5 mm e instalado a 0,15 m sobre o nível do terreno. A estimativa da evapotranspiração (ETP) com base na evaporação desse tanque, tem sido recomendada por inúmeros pesquisadores. As medidas de evaporação de uma superfície livre de água, no tanque evaporimétrico integram os efeitos dos diferentes fatores meteorológicos, que influem na evapotranspiração potencial (GRASSI, 1968).

LÓPES & MATHISON (1966), 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 $ETP/EV = 0.75$.

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

Desde que as normas de operação do tanque sejam observadas de forma rigorosa, obtêm-se a evapotranspiração potencial com confiabilidade razoável, mediante o uso da equação $ETP = K_p \times ECA$, onde ECA é a evaporação do tanque "Classe A"; K_p é o coeficiente do tanque, que é afetado pe-

lo ambiente em que está localizado (DOORENBOS & PRUITT, 1975).

DOORENBOS & PRUITT (1975), apresentaram uma tabela de valores de K_p , para diferentes condições de vento, umidade relativa e superfície cultivada em volta do tanque. Porém, sabe-se que todos os instrumentos empregados para medir a evaporação, atuam com independência da fisiologia da planta, indicando a evapotranspiração potencial. Quando se leva em conta o cultivo e o seu estado de desenvolvimento, é preciso fazer determinadas correções (ISRAELSEN & HANSEN, 1965).

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

Fórmulas empíricas também são usadas na estimativa da evapotranspiração potencial. As equações empíricas foram desenvolvidas para várias regiões do mundo, sendo função, entretanto, do tipo de clima para o qual foram corrigidos; e, quando possível devem ser adaptadas à localidade onde se pretende aplicá-las. Há, ainda, os métodos baseados em dados climatológicos, ou sejam: dados de umidade (OSTRAMECKI, PAPADAKIS, IVANOV, HARGREAVES); dados de radiação (OLIVIER,

TURC, JENSEN-HAISE, MAKKINK); dados de temperatura (THORNTHWAITE, BLANEY-CRIDDLE); dados de evaporação (PRUITT), dados de combinação (PENMAN, KOHLER, NORDENSON-FOX); dados de múltipla correlação (CHRISTIANSEN) segundo (JENSEN, 1973; GUERRERO, 1975).

O método de BLANEY & CRIDDLE (1950) foi desenvolvido para as condições semi-áridas do oeste dos Estados Unidos, utilizando a temperatura média mensal (t) e a percentagem de horas de luz solar (p). A equação proposta por BLANEY & CRIDDLE (1950), tem sido adotada pelo Serviço de Conservação de Solo do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (SCS-USDA), apesar da sua limitação ao considerar apenas a temperatura do ar. Com a inclusão de um coeficiente de cultura (K_c), esta alternativa se mostrou bastante favorável. O coeficiente de cultura deve ser determinado no local, para os diferentes cultivos, permitindo assim a estimativa da evapotranspiração atual (ETA) segundo (ISRAELSEN & HANSEN, 1965; GRASSI, 1968; BERLATO & MOLION, 1981).

SILVA et alii (1973), objetivando verificar a validade de algumas fórmulas empíricas, para a estimativa da evapotranspiração potencial da zona litorânea do Estado do Ceará, correlacionaram dados obtidos através das fórmulas de THORNTHWAITE, BLANEY & CRIDDLE e PENMAN, com outros provenientes da medição direta através do evapotranspirômetro modificado de THORNTHWAITE. Concluíram que o método de THORNTHWAITE foi o único a não diferir significativamente

da medição direta. Os mesmos autores, mais tarde (1978), baseados em fatores meteorológicos, desenvolveram outras fórmulas empíricas, correlacionando-as com os dados obtidos da ETP medida no evapotranspirômetro, para determinar os elementos climáticos que mais se correlacionavam com a evapotranspiração potencial na zona litorânea do Estado do Ceará. Chegaram as seguintes conclusões: dos elementos climáticos, apenas a temperatura mostrou-se significativa; e das fórmulas desenvolvidas, recomendaram o uso de três expressões, todas em condições de contorno como temperaturas médias na faixa de aproximadamente 25 a 28°C, evaporação mensal no piche entre 70 a 230 mm para a fórmula 2 e radiação solar mensal entre 10.000 e 16.000 cal.cm⁻² para a fórmula 3.

$$ETP = 27,3 t - 585 \quad (1)$$

$$ETP = 25,9 t + 0,036 e - 552 \quad (2)$$

$$ETP = 26,1 t + 0,0014 R - 572 \quad (3)$$

CAMARGO (1983), propôs uma equação para estimativa de evapotranspiração potencial (ETP) baseada em dados de radiação solar incidente em superfície horizontal fora da atmosfera. Os valores de ETP calculados pela equação foram comparados com os valores medidos através de baterias de evapotranspirômetros, em três localidades de S. Paulo, e mostraram boa correlação. Posteriormente, encontraram asso-

ciação bastante estreita com a de THORNTHWAITE, em Campinas-SP, durante três anos. Finalmente, a mesma equação foi testada em 16 localidades, distribuídas pelo território paulista, e também para diversas localidades das regiões Norte, Nordeste, e Sul do Brasil, com resultados satisfatórios.

A evapotranspiração atual (ETA) pode ser determinada também pelas medidas da umidade do solo, através da técnica de moderação de neutrons, ou método gravimétrico. A técnica de moderação foi introduzida por BELCHER et alii (1950), citado por BRUNINI et alii (1975), para a medida da umidade do solo, e utilizada por inúmeros autores, para estimativa dos termos do balanço hídrico. Esta técnica é vantajosa para o estudo da dinâmica da água do solo (DENMEAD & SHAW, 1962; CRUCIANI, 1972; FERRAZ, 1972; BRUNINI et alii, 1981).

CASTRO NETO et alii (1980), estimaram a evapotranspiração atual (ETA) baseados na medição de umidade do solo determinada pelo método padrão de estufa (*gravimétrico*).

Um método de grande precisão, para determinação da evapotranspiração atual (ETA) das culturas, é o método do balanço hídrico em um volume de controle de solo, sugerido por ROSE & STERN (1967). O balanço hídrico é uma exposição detalhada de todas as entradas, saídas e variações do armazenamento de água ocorridas num dado volume de solo, da superfície até uma profundidade definida e durante um intervalo de tempo específico (HILLEL, 1972; BAVER et alii, 1972), citados por SILVEIRA & STONE (1979).

A aplicação do método proposto por ROSE & STERN (1967), requer uma caracterização físico-hídrica detalhada do perfil do solo. Isto, juntamente com as complexidades que envolvem a determinação dos componentes do balanço, principalmente na estimativa da drenagem profunda (Q_L) ou ascensão capilar, é que dificulta o emprego do método. Todavia, apesar destas dificuldades, os autores são de opinião que a metodologia não é apenas viável, mas também, imprescindível para o conhecimento profundo das relações água-solo-planta, em uma cultura (REICHARDT *et alii*, 1979).

Tendo em vista as dificuldades em sua medição alguns pesquisadores consideram a drenagem profunda desprezível (WILCOX, 1960; HILLEL, 1972), citados por SILVEIRA & STONE (1979). Analisando a equação do balanço hídrico, verifica-se que a drenagem profunda (Q_L) na verdade, está somada à evapotranspiração (ET), pois as determinações dos outros componentes são razoavelmente precisas. Logicamente, que a proporção entre os fluxos de drenagem profunda e evapotranspiração varia de situação para situação, e fica patente que a drenagem profunda não pode ser desprezada sem justificativa experimental (REICHARDT, 1974).

Na estimativa da drenagem profunda (Q_L), obtida a partir da integração de fluxos calculados segundo a equação de Darcy, há necessidade de se conhecer os valores da condutividade hidráulica $K(\theta)$ e de gradiente de potencial total $\left[\frac{\Delta\Psi}{\Delta Z}\right]$ nos perfis do solo.

✕ A condutividade hidráulica $K(\theta)$ é um parâmetro es-

sencial para a resolução de problemas ligados à dinâmica da água no solo, guardando um comportamento exponencial em função da umidade do solo (θ) (REICHARDT, 1974). Diversos métodos foram desenvolvidos para sua distribuição, tais como o método de perfil instantâneo (HILLEL et alii, 1972) que foi considerado como método padrão, utilizando os perfis de umidade e de potencial matricial do solo. Depois, foi modificado por CHO et alii (1977) e denominado de método de HILLEL Modificado I, segundo citação de SAUNDERS (1978). Uma nova modificação foi introduzida por SAUNDERS (1978), na determinação do fluxo de percolação profunda ou ascensão capilar, através de um processo analítico, e denominado de método de HILLEL Modificado II.

Os valores dos gradientes de potenciais podem ser obtidos por meio de tensiômetros, instalados à diferentes profundidades, para medição dos potenciais matriciais e, por conseguinte, dos potenciais totais.

X SILVEIRA & STONE (1979), efetuaram um balanço de água na cultura do feijão, durante um período de 75 dias, dividido nos estágios de desenvolvimento da cultura, determinando valores de evapotranspiração atual (ETA) de 3,2; 3,2 ; 1,7 mm/dia ou 0,62; 0,77 e 0,38 ECA (ECA = evaporação do tanque "Classe A"), nas fases de germinação ao início da floração, floração, e do desenvolvimento de vagens à maturação, respectivamente. X

SILVA & MILLAR (1981), conduziram um experimento de feijão-de-corda, em regime de irrigação e em condições de

adubação nitrogenada, tendo encontrado, através do balanço hídrico, a evapotranspiração média do feijão-de-corda e o coeficiente de cultura, de 3,68 e 3,58 mm/dia e de 0,42 e 0,40, respectivamente para 80 e 120 kg/ha de nitrogênio. A evaporação média do tanque "Classe A", foi de 8,84 mm/dia, tendo sido aplicados, durante o ciclo, 466 mm de água. Citam ainda, que estes dados de evapotranspiração são semelhantes aos obtidos para feijão (*Phaseolus vulgaris*, L) por MAGALHÃES & MILLAR (3,55 mm/dia, em Petrolina; REICHARDT et alii (1974) (3,44 mm/dia em Piracicaba); GARRIDO E TEIXEIRA (1977) (3,34 mm/dia, no sul de Minas Gerais).

X SAUNDERS et alii (1981), em experimento conduzido na Fazenda Experimental do Vale do Curu, no município de Pentecoste-CE, determinaram a evapotranspiração atual (ETA) e potencial (ETP) do feijão-de-corda irrigado pela aplicação do método do balanço hídrico e a partir da evaporação do "Classe A", encontrando valores médio de ETA e ETP de 4,5 e 4,7 mm/dia, respectivamente, e um valor médio de Kc igual a 0,96. Os valores de ETA foram considerados elevados possivelmente devido aos altos níveis de umidade, sob os quais a cultura se desenvolveu. X

SAUNDERS et alii (1984), determinaram a evapotranspiração atual da cultura do feijão-de-corda sob regime pluviométrico normal no município de Quixadá-CE, utilizando a metodologia do balanço hídrico sugerida por ROSE & STERN (1967). Os valores de ETA apresentaram-se segundo uma distribuição normal, com valores mínimos no início e no final

do ciclo de 2,20 e 2,08 mm/dia, atingindo um máximo de 5,94 mm/dia no período de floração/frutificação. A evapotranspiração atual (ETA) do ciclo da cultura atingiu um valor médio de 3,18 mm/dia.

VAN BAVEL & HARRIS (1962), durante dois anos consecutivos (1957 e 1958) em Raleigh, Carolina do Norte - EUA, mediram a evapotranspiração do milho, por meio do lisímetros de percolação, e compararam com as taxas de evapotranspiração potencial (ETP) estimadas através de dados climáticos, com o emprego de três métodos: a fórmula de PENMAN e duas simplificações dela. Concluíram que, em geral, as estimativas usadas estão razoavelmente consistentes com as observações em períodos de tempo longo, com tendências para resultados altos quando se usava a fórmula de PENMAN completa. As estimativas foram menos precisas para períodos curtos. A taxa de evapotranspiração estacional média foi de 5,65 mm/dia em 1957 e 4,45 mm/dia em 1958. Os valores máximos observados, durante a polinização foram 9,15 mm/dia em 1957 e 7,33 mm/dia em 1958.

FRISTSCHEN & SHAW (1960) em experimento conduzido em Ames, Iowa-EUA, com a finalidade de relacionar a evapotranspiração do milho com o tanque de evaporação, concluíram que os dados de evaporação do tanque podem ser usados para estimar as exigências de evapotranspiração do milho e requerimentos de irrigação, desde que uma relação, entre a cultura e o tanque de evaporação, tenha sido estabelecida para a dada área.

DOSS et alii (1962), em Thorsby Alabama-EUA, com quatro anos de dados de evapotranspiração atual (ETA) medidos em milho sob regime de irrigação e obtidos através do tanque "Classe A", observaram que a taxa de evapotranspiração do milho tem um padrão característico durante todo o período de crescimento, alcançando valores mais altos até um máximo que vai da floração à formação de grãos, e com taxas baixas nas fases inicial e final de crescimento. As taxas médias encontradas foram de 1,8 mm/dia a 5,8 mm/dia, com limites de 1,3 a 7,6 mm/dia.

DENMEAD & SHAW (1959), citado por DOSS et alii (1962), observaram que a evapotranspiração do milho e a taxa de evaporação do tanque foram mais altos entre a floração e o período de formação da espiga.

CASTRO (1979), em Piracicaba-SP, desenvolveu um estudo com a cultura do milho, objetivando determinar a evapotranspiração atual (ETA) e, conseqüentemente, a água necessária ao processo fisiológico e dinâmico, através da metodologia do balanço hídrico. Os resultados foram correlacionados com os de evapotranspiração potencial (ETP) estimados pelo método de PENMAN, e evaporação potencial (ETP) estimada em função da evaporação do tanque "Classe A" (ECA) durante o período considerado. Concluiu que o fluxo de evapotranspiração real média do milho é de 4,72 mm/dia e a evaporação do tanque "Classe A" corrigida pelo coeficiente de tanque (K_p) pode ser usada para estimar a evapotranspiração atual do milho (ETA), através do seu coeficiente de cultura

(Kc) médio de 0,75 obtido para o 2º estágio de desenvolvimento. Pode ser estimada, também, a partir da evapotranspiração de PENMAN.

REICHARDT et alii (1979), em Piracicaba-SP, estudaram a dinâmica da água em solo cultivado com milho durante todo o período de desenvolvimento, com o objetivo de estabelecer um balanço hídrico completo, conhecendo a sua dinâmica do solo e determinar a atividade radicular como uma função do tempo e profundidade. Os dados obtidos mostraram a importância da drenagem profunda como componente do balanço hídrico, sendo possível determinar a percentagem de distribuição radicular de uma cultura, desde que as características físico-hídricas do perfil sejam conhecidas. A evapotranspiração média da cultura foi de 3,4 mm/dia, bem abaixo da evapotranspiração potencial (ETP) que oscilou em torno de 7 mm/dia durante o período estudado.

SAUNDERS et alii (1984), com a finalidade de determinar o uso consuntivo da cultura do milho (*Zea mays*, L) sob condições naturais de precipitação, em Quixadá-CE, mediante a utilização do balanço hídrico, encontraram um valor médio de evapotranspiração real da ordem de 5,78 mm/dia.

BRYAN & BROWN (1963), em Arkansas-EUA, determinaram em condições de campo, a taxa de evapotranspiração para o desenvolvimento do algodão em solos siltosos e argilosos. A taxa máxima da evapotranspiração do algodão, em solo siltosos, foi de 5,84 mm/dia, durante o período de máxima frutificação da planta. A taxa de evapotranspiração do algodão

em crescimento, em solos argilosos, foi bastante elevada (13,72 mm/dia) por curtos períodos, durante a máxima frutificação da planta.

AL-KHAFAF et alii (1978), desenvolveram um trabalho em algodão irrigado, no Novo México visando formular e testar relações empíricas para estimativa da evaporação do solo e a transpiração. Baseados na demanda evaporativa e no desenvolvimento da planta sob dois (2) regimes de irrigação do solo, com e sem limitações, concluíram que a evapotranspiração atual (ETA), depende do índice de área foliar, percentagem de água disponível e demanda evaporativa potencial. Os resultados obtidos com as equações desenvolvidas, ajustaram-se bem com o valores para evaporação do solo e transpiração estimados neste trabalho.

MARINATO & KAKIDA (1982), determinaram o uso consuntivo do algodão, na Estação Experimental de Gortuba, Norte de Minas, em solo Aluvião Franco Eutrófico, usando o evapotranspirômetro de THORNTHWAITTE. Os resultados obtidos, em dois anos consecutivos, foi a média diária durante o ciclo de 5,86 mm/dia no 1º ano, com uma produtividade de 2.958 kg/ha, e 3,60 mm/dia no 2º ano, com uma produtividade de 3.605 kg/ha. Nota-se que, apesar do consumo de água ter sido maior no 1º ano, a produtividade do 2º ano foi superior. Deduz-se, pois que o consumo está intimamente relacionado com as condições climáticas, citado por MARINATO & LIMA (1982).

KAKIDA & MARINATO (1982), em estudo do período crí-

tico para irrigação do algodão, no Vale do Gortuba, na Região Norte Mineira, concluíram que esse período está na fase de início da floração até a formação das maçãs, espaço compreendido entre 60 e 100 dias do ciclo. Nesta fase, a água disponível no solo não deve baixar além de 60%.

SILVA et alii (1984), tendo como objetivo principal estudar o efeito do déficit hídrico sobre o rendimento e componentes de produção do algodoeiro, no perímetro irrigado Engº Arcoverde, Condado-PB. determinaram que o período crítico situa-se na fase de floração/frutificação.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Caracterização do experimento

O experimento foi instalado em área irrigada da Fazenda Experimental do Vale do Curu, pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, no município de Pentecoste, situada a uma altitude de 47 m entre os paralelos 3°45' e 4°00' latitude sul e os meridianos 39°15' e 39°30' a oeste de Greenwich.

Segundo a classificação de Koeppen, o clima da região é semi-árido (Bsh'i), apresentando uma precipitação média anual em torno de 850 mm, com temperatura média anual de 27°C e umidade relativa de aproximadamente 73% (TABELA 1).

O solo foi classificado com Aluvial Eutrófico, de textura indiscriminada, conforme os dados do Levantamento Exploratório "Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará", e como Torrifluvents segundo os critérios de Soil Taxonomy, citado por SAUNDERS et alii (1980). A TABELA 2, mostra as principais características físicas e químicas desse solo. O exame dos valores da densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, revela que existe grande semelhança entre as quatro camadas do solo estudadas.

TABELA 1 - Dados da estação agrometeorológica da Fazenda Experimental do Vale do Curu (Pente - coste-CE) - anos de 1966 - 1980.

Meses	Temperatura do Ar					Umida de Re lativa	Vento		Radiação Solar ² cal/cm ²	Inso- lação horas	Eva- poração mm	Pre- cipi- tação mm	Nebu- losi- dade n/10	Pressão Atmosfé- rica mm/Hg
	Média Comp. °C	Média Máxima °C	Média Mínima °C	Máxima Absol. °C	Mínima Absol. °C		Dir.	Vel. m/s						
jan.	27,8	33,7	23,0	36,8	20,2	71,8	NE	4,7	13.254	207,3	132,6	62,9	4,7	750,6
fev.	27,0	32,4	22,6	37,0	19,8	78,9	NE	4,0	11.822	162,7	84,5	126,5	5,6	750,0
mar.	26,2	31,0	22,4	36,0	20,4	84,7	N	2,6	12.266	145,0	55,8	174,6	6,5	750,9
abr.	26,2	31,0	22,3	35,4	20,2	85,2	N	2,7	11.883	155,7	54,1	175,4	5,6	750,5
maio	26,2	31,0	21,8	35,6	19,4	84,1	S	2,6	12,442	189,4	64,0	136,3	4,9	751,6
jun.	26,0	31,0	21,1	35,3	18,3	79,4	S	3,0	11.865	201,5	86,1	51,3	4,0	752,5
jul.	26,2	32,0	21,0	36,4	16,5	73,6	ESE	3,6	12.832	224,7	122,3	33,5	3,6	752,9
ago.	27,1	33,8	21,5	37,0	17,0	65,9	E	4,5	14.271	265,4	162,2	5,8	2,5	752,4
set.	27,7	34,5	22,2	37,4	19,4	65,5	E	5,7	14.611	265,0	163,0	9,2	2,4	752,2
out.	28,0	34,7	22,5	37,2	19,0	66,7	NE	5,5	14.642	264,5	168,6	4,7	2,8	750,8
nov.	28,1	34,6	22,3	36,7	18,3	66,3	NE	5,4	14.312	257,5	154,4	5,6	3,3	750,7
dez.	28,1	34,2	22,7	36,7	19,5	67,9	NE	4,9	14.168	243,3	149,9	17,3	3,7	750,6
Soma										2.573,0	1.397,5	806,1		
Média	27,0	32,8	22,1			74,1	NE	4,1					4,1	751,3

TABELA 2 - Características físicas e químicas do solo

Camada de Solo		Análise Granulométrica (%)					Argila Natural (%)	Classificação Textural	Porosidade Determinada (%)	Macroporosidade (%)	Microporosidade (%)	Densidade do Solo
Símbolo	Limites (cm)	Areia Grossa 2-0,2 mm	Areia Fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila 0,002 mm							
C ₁	0- 45	8,0	60,3	20,3	11,4	11,3	Franco Arenoso	49,10	11,7	37,4	1,57	
C ₂	45- 75	7,8	55,8	23,3	13,1	13,1	Franco Arenoso	44,00	13,4	30,6	1,56	
C ₃	75-120	2,8	54,6	27,5	15,1	14,5	Franco Arenoso	45,50	7,2	38,3	1,64	
C ₄	120-170	1,7	37,9	36,8	23,6	23,6	Franco	42,00	3,4	38,6	1,61	

Camada de Solo		Complexo Sortivo ME/100 g de Solo								100 S/T V(%)	Carb _{no} (%)	Sódio (%)	CE mmhos/cm
Símbolo	Limites (cm)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Al ³⁺	S	T				
C ₁	0- 45	5,30	2,40	0,09	0,21	0,65	0,01	8,00	8,65	92	0,282	2,43	0,40
C ₂	45- 75	4,80	5,20	0,09	0,21	0,00	0,00	10,30	10,30	100	0,198	2,04	0,26
C ₃	75-120	4,10	6,40	0,12	0,46	0,00	0,00	11,08	11,08	100	0,222	4,16	0,36
C ₄	120-170	5,00	7,00	0,15	2,64	0,00	0,00	14,78	14,78	100	0,306	17,87	0,80

3.2 - Manejo do consórcio

As culturas utilizadas neste estudo foram feijão - EPACE 1; milho Centralmex; e algodão CNPA - 76; em sistema de cultivo consorciado.

A área de 400 m² (20 x 20 m) onde foi instalado o experimento, foi previamente arada, sulcada, adubada com NPK e irrigada em pré-plantio.

O plantio foi efetuado no dia 12/09/84, em fileiras espaçadas de 0,80 m, sendo as filas de algodão alternadas com as filas de milho associado com feijão.

Procedeu-se o desbaste aos vinte e dois dias após emergência, o que ocasionou uma densidade de 9 plantas de algodão por metro linear e 4 plantas de milho intercalado com 4 plantas de feijão por metro linear.

Durante o período de desenvolvimento foram realizados os tratamentos culturais e fitossanitários requeridos.

O início da floração do feijão ocorreu em 19/10, do algodão em 30/10 e o milho em 04/11. Foram feitas três colheitas do feijão (nos dias 08/11, 20/11 e 11/12), duas do algodão (nos dias 27/12 e 03/01/85) e uma do milho em 30/01/85.

3.3 - Metodologia

3.3.1 - Fundamentos do método do balanço hídrico

O balanço hídrico num elemento de volume de solo de profundidade Z , de 0 a L , durante um intervalo de tempo $\Delta t = t_2 - t_1$, tem sua equação fundamentada na lei da conservação das massas. Esta equação diz que a soma algébrica dos fluxos durante um intervalo de tempo Δt , é igual às variações da quantidade de água armazenada no mesmo intervalo em uma camada de profundidade 0 a L , podendo ser escrita:

$$\int_{t_1}^{t_2} (p + i \pm e \pm q_L \pm r) dt = \pm \int_0^L \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{\partial \theta}{\partial t} \right) dt dz \quad (01)$$

O primeiro membro pode ser desdobrado em uma soma algébrica de integrais, transformando-se em:

$$\int_{t_1}^{t_2} p dt + \int_{t_1}^{t_2} i dt \pm \int_{t_1}^{t_2} e dt \pm \int_{t_1}^{t_2} q_L dt \pm \int_{t_1}^{t_2} r dt =$$

$$= \pm \int_0^L \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{\partial \theta}{\partial t} \right) dt dz \quad (02)$$

onde: p , i , e , q_L e r são densidades de fluxos (LT^{-1}) de-

nominados:

p = densidade de fluxo de precipitação

i = densidade de fluxo de irrigação

e = densidade de fluxo de evapotranspiração

q_L = densidade de fluxo de água em $Z = L$

r = densidade de fluxo de escoamento superficial

θ = conteúdo de água do solo em (cm^3 de água . cm^{-3} de solo)

Fazendo-se uma análise dos termos do primeiro membro da equação (02) tem-se:

$$\int_{t_1}^{t_2} p dt = P \quad (03)$$

representa a quantidade de água que chega à superfície do volume de solo ($Z=0$), na forma de precipitação (P). O segundo termo representa a quantidade de água que chega à superfície ($Z=0$), do volume de solo, em forma de irrigação (I).

$$\int_{t_1}^{t_2} i dt = I \quad (04)$$

O terceiro termo refere-se a quantidade de água que sai através da superfície do volume de solo ($Z=0$), na forma de evapotranspiração (ET).

$$\pm \int_{t_1}^{t_2} e dt = \pm ET \quad (05)$$

O quarto termo, indica a quantidade de água (Q_L) que passa através do limite inferior do volume de solo ($Z=L$), denominando-se drenagem profunda se negativo ou ascensão capilar se positivo.

$$\pm \int_{t_1}^{t_2} q_L dt = \pm Q_L \quad (06)$$

O quinto termo,

$$\pm \int_{t_1}^{t_2} r dt = \pm R \quad (07)$$

indica parte da quantidade de água que chega ou sai da superfície do solo ($Z=0$), sob a forma de precipitação ou irrigação, mas não é infiltrada e escoando superficialmente, daí ser denominado de escoamento superficial (R). Este termo depende da capacidade de infiltração e armazenamento de água do solo, da intensidade e quantidade de precipitação e da declividade do local.

O segundo membro da equação (02)

$$\pm \int_0^L \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{\partial \theta}{\partial t} \right) dt dz = \pm \Delta A \quad (08)$$

diz que o somatório das variações do conteúdo de água do solo (θ) em um intervalo de tempo ($t_2 - t_1$), integrados ao longo da profundidade 0 a L, é igual a variação da quantidade de água armazenada no solo (ΔA) no mesmo intervalo de tempo. Este componente pode ser positivo ou negativo, de acordo com a magnitude dos outros termos da equação (02).

Pode-se agora reescrever a equação (01) de maneira mais simplificada e usual como:

$$P + I \pm ET \pm Q_L \pm R = \pm \Delta A \quad (09)$$

3.3.2 - Procedimento para determinação dos componentes do balanço hídrico

No presente estudo, considerou-se um volume de solo de profundidade $L = 120$ cm, para as determinações dos diversos componentes do balanço hídrico.

A variação do armazenamento de água no solo (ΔA , mm) foi estimada a partir de perfis consecutivos de umidade do

solo θ ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$), obtidos indiretamente através de leituras de tensiômetros e curva característica do solo.

Na área do experimento foram instalados duas baterias de tensiômetros de manômetros de mercúrio nas profundidades de 15, 45, 75, 105 e 135 cm para cada bateria. O potencial matricial (Ψ_m) foi calculado através da fórmula:

$$\Psi_m = - 12,6 h_z + h_c + z \quad (10)$$

sendo: h_z = leitura da coluna de mercúrio ou do manômetro conectado ao tensiômetro (cm de Hg)

h_c = altura do nível de mercúrio na cuba, em relação à superfície do solo (cm)

z = profundidade de instalação do tensiômetro (cm)

Foi elaborada uma curva característica para cada profundidade de instalação dos tensiômetros, os resultados encontram-se nas FIGURAS 1, 2, 3, 4 e 5.

Para a obtenção da curva na faixa de potenciais matriciais entre 0 e - 0,8 atmosfera foi empregado o procedimento desenvolvido por COELHO & OLIVEIRA (1984), utilizando-se amostras indeformadas e para potenciais matriciais entre - 0,8 e - 15 atm foram utilizadas a panela e placa de pressão. A umidade θ correspondente a cada potencial matricial foi calculada de acordo com a equação:

$$\theta = u_p \cdot d \quad (11)$$

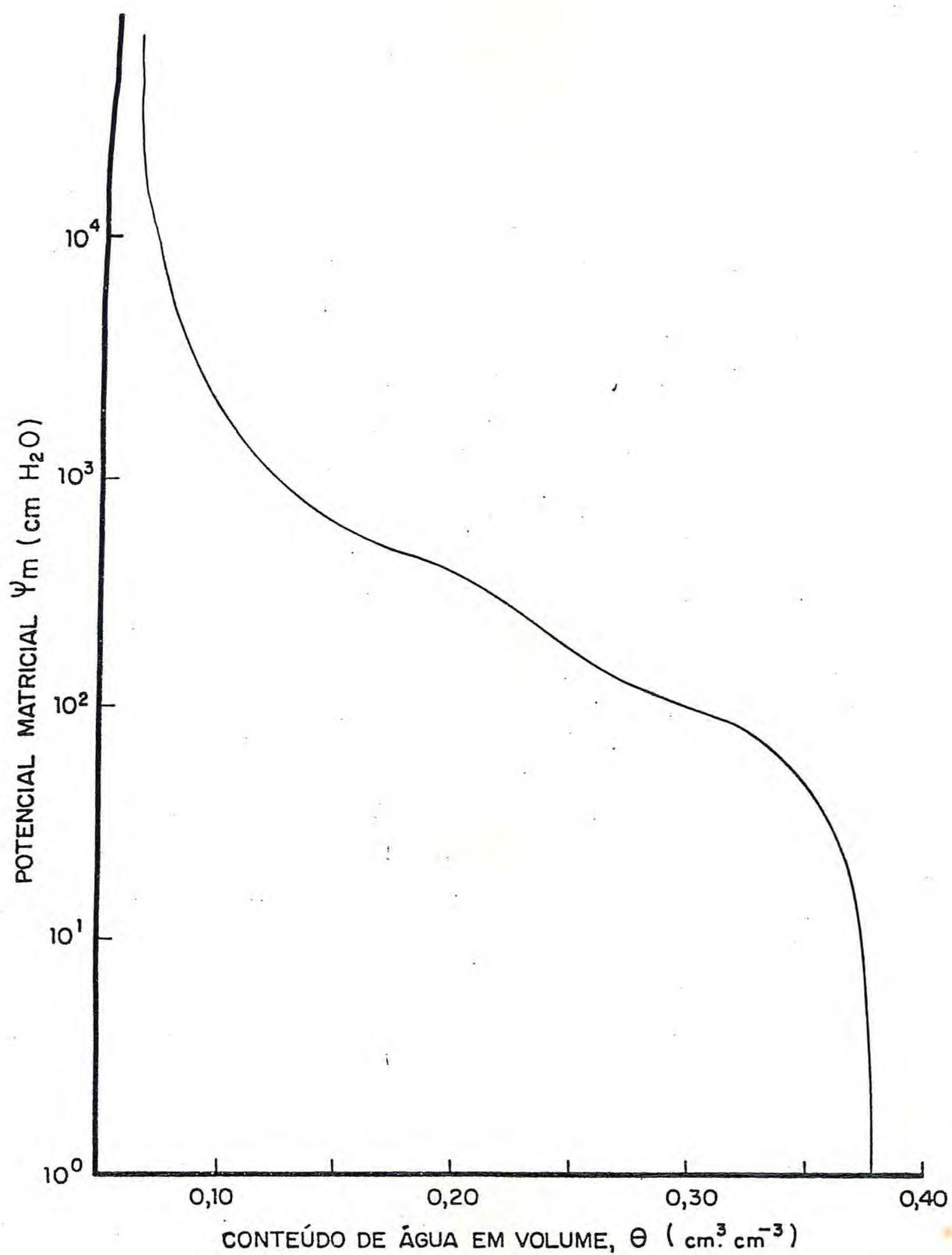


FIGURA 1 - Curva característica de um solo aluvial da Fazenda Experimental do Vale do Curu - Profundidade 15 cm.

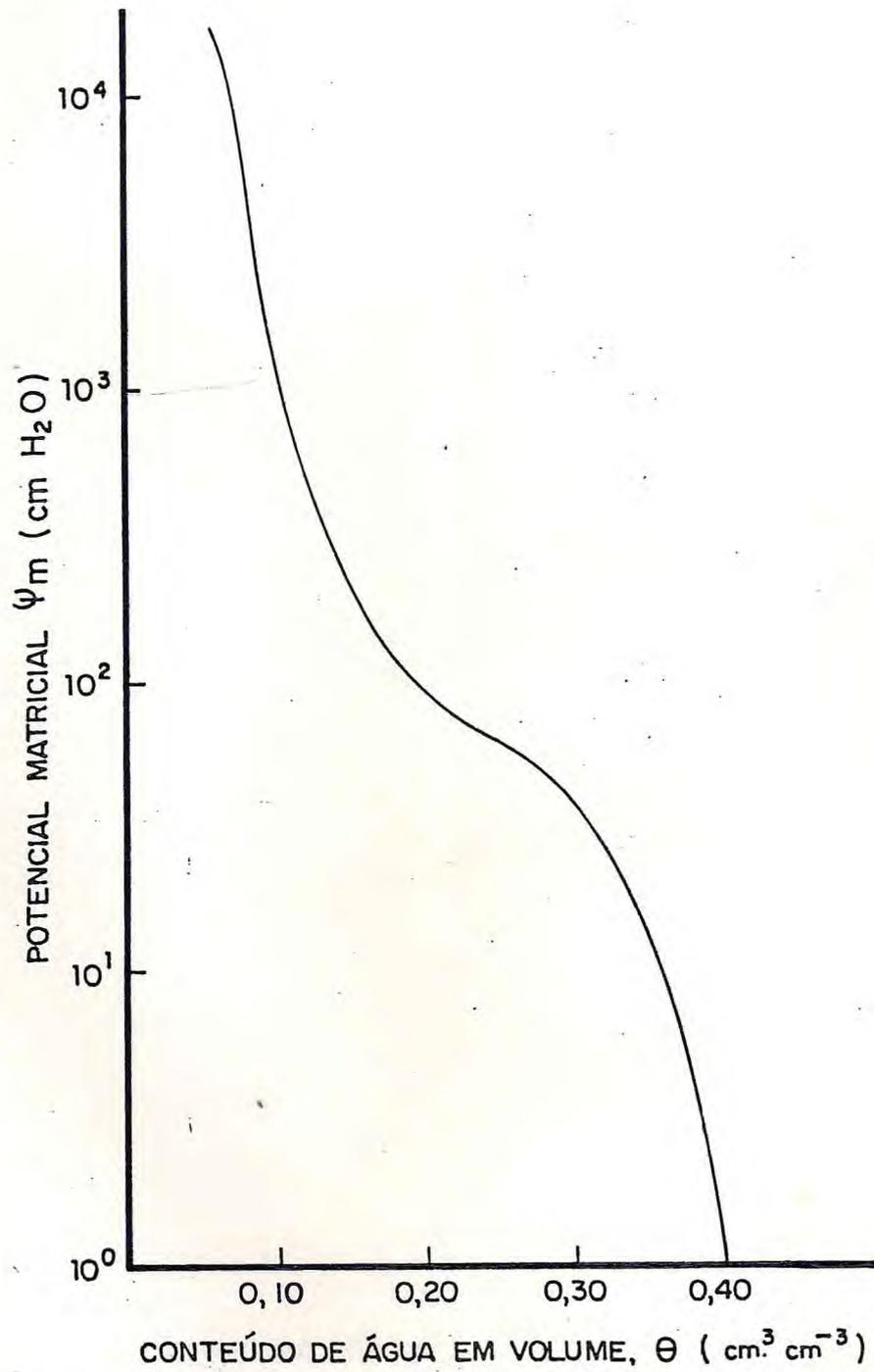


FIGURA 2 - Curva característica de um solo da Fazenda Experimental do Vale do Curu - Profundidade 45 cm.

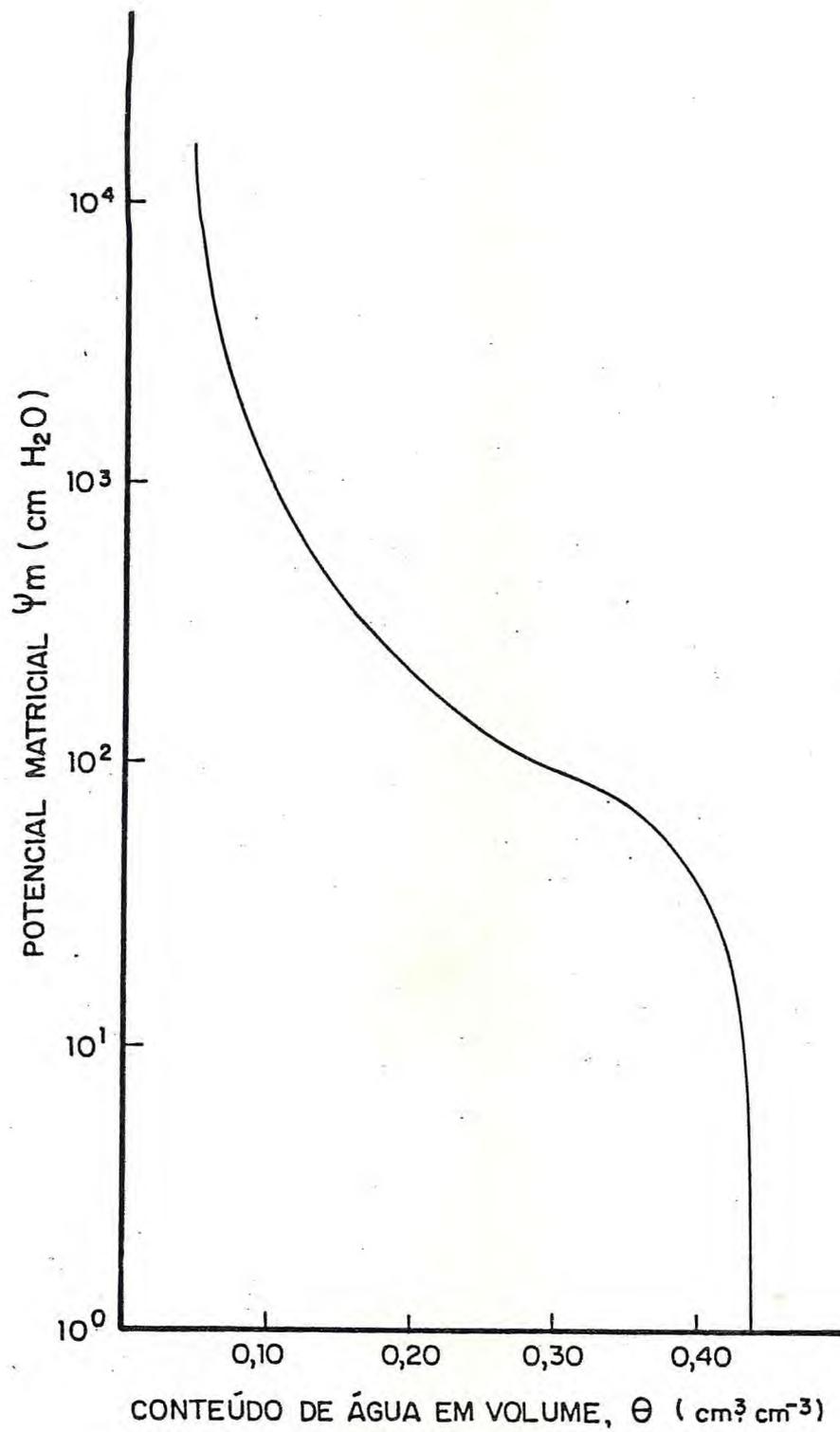


FIGURA 3 - Curva característica de um solo aluvial da Fazenda Experimental do Vale do Curu - profundidade 75 cm.

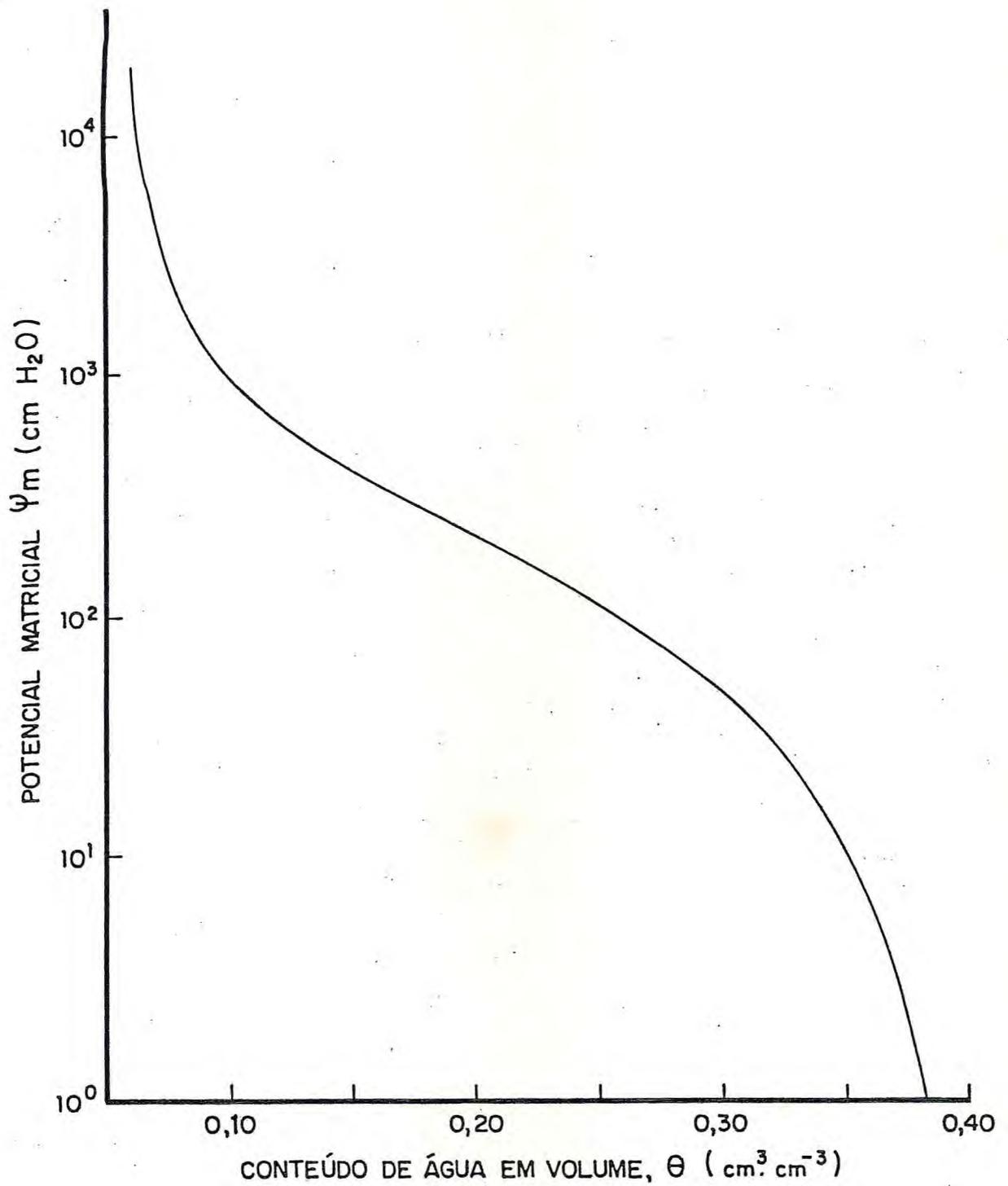


FIGURA 4 - Curva característica de um solo aluvial da Fazenda Experimental do Vale do Curu - Profundidade - 105 cm

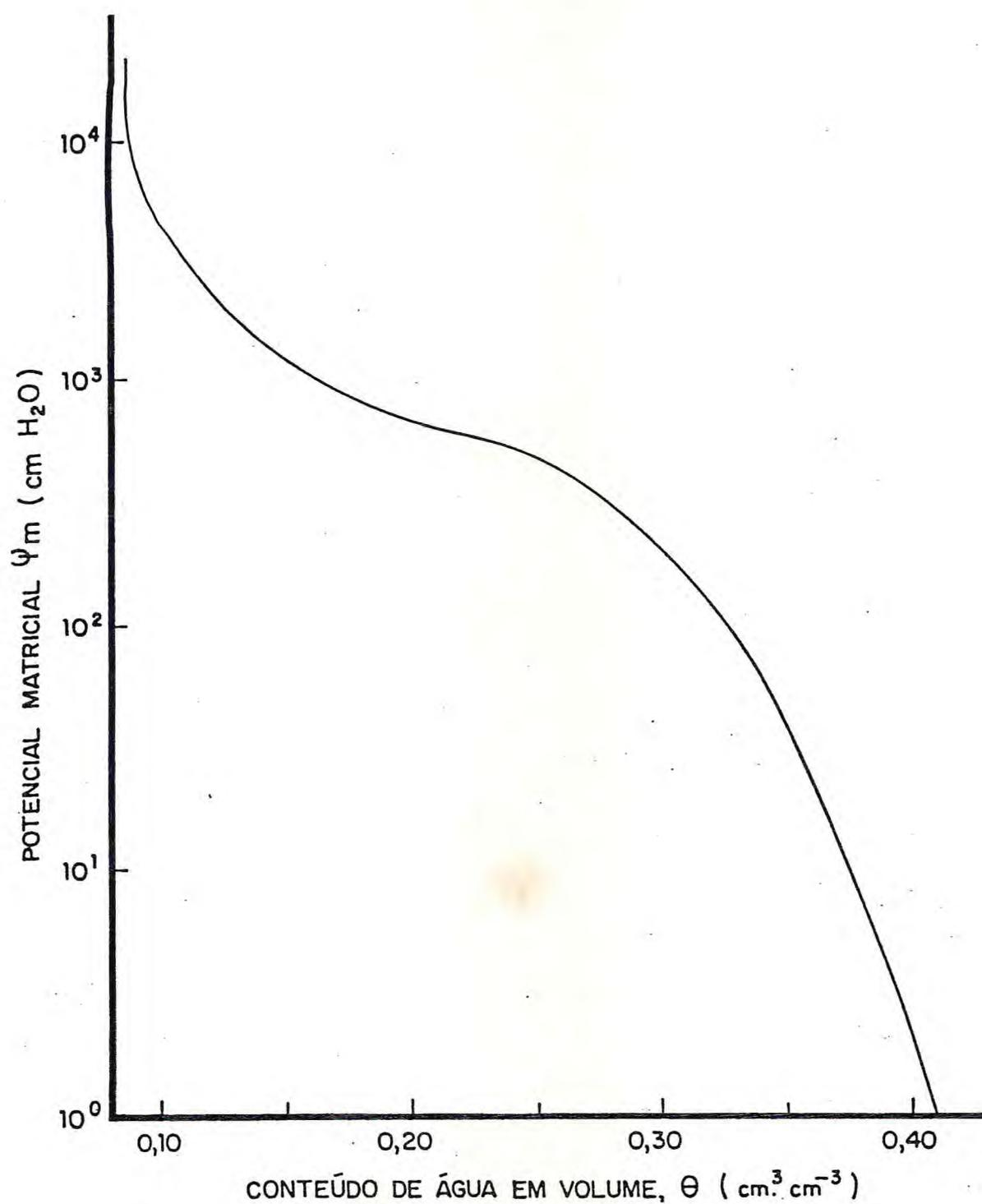


FIGURA 5 - Curva característica de um solo aluvial da Fazenda Experimental do Vale do Curu - Profundidade - 135 cm.

sendo: θ = conteúdo de água ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$)

u_p = conteúdo de água na base de peso seco ($\text{g}.\text{g}^{-1}$)

d = densidade do solo

De posse dos valores de potencial matricial (Ψ_m) obtidos das leituras dos tensiômetros e das curvas características do solo ($\Psi_m.\theta$), para cada profundidade, foram obtidos os valores correspondentes ao conteúdo de água θ ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$).

Na determinação do armazenamento de água do solo foi empregada a fórmula:

$$A = \int_0^L \theta dz = \bar{\theta}.L \quad (12)$$

onde: $\bar{\theta}$ = conteúdo de água médio do perfil ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$)

L = profundidade do perfil (cm)

Assim, a variação do armazenamento num intervalo $\Delta t = t_2 - t_1$, foi obtida pela fórmula:

$$\Delta A = (\bar{\theta}_2 - \bar{\theta}_1) \quad (13)$$

sendo: ΔA = variação de armazenamento (mm)

$\bar{\theta}_2$ = conteúdo de água médio do perfil no instante t_2 ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$)

$\bar{\theta}_1$ = conteúdo de água médio do perfil no instante

$$t_1 \text{ (cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}\text{)}$$

A determinação da drenagem profunda (Q_L , mm) é bastante complexa, sendo o termo mais difícil de ser estimado em um balanço hídrico, podendo ser obtido mediante a equação de Darcy:

$$Q_L = - K_L (\theta) \cdot \left(\frac{\partial \Psi}{\partial Z} \right)_L \quad (14)$$

onde: $K_L (\theta)$ = condutividade hidráulica do solo (LT^{-1}) na profundidade L , sendo função da umidade do solo θ ($L^3 \cdot L^3$)

$\frac{\partial \Psi}{\partial Z}$ = gradiente de potencial total da água do solo, na profundidade $Z = L$

O cálculo da drenagem profunda, nos limites de $Z = 30, 60, 90$ e 120 cm do volume de solo considerado para o balanço, foi efetuado a partir da equação (14), na qual os valores de condutividade hidráulica do solo do experimento, nas profundidades estudadas foram determinadas por SAUNDERS & BEZERRA (1984) e cujas expressões são:

$$K_{30} (\theta) = \exp. 15.203 (3,075\theta - 1) \quad (15)$$

$$K_{60} (\theta) = \exp. 12.508 (3,018\theta - 1) \quad (16)$$

$$K_{90}(\theta) = \exp. 17.547 (3,104\theta-1) \quad (17)$$

$$K_{120}(\theta) = \exp. 31.310 (3,199\theta-1) \quad (18)$$

A determinação do gradiente de potencial total nas profundidades estudadas, foi feita com a utilização das expressões (19), (20), (21) e (22), que representam a diferença dos potenciais totais em duas profundidades consecutivas pela distância entre elas.

$$\left. \frac{\partial \Psi}{\partial Z} \right|_{30} \approx \left. \frac{\Delta \Psi}{\Delta Z} \right|_{30} = \frac{-12,6 (\bar{h}_{15} - \bar{h}_{45})}{30} \quad (19)$$

$$\left. \frac{\partial \Psi}{\partial Z} \right|_{60} \approx \left. \frac{\Delta \Psi}{\Delta Z} \right|_{60} = \frac{-12,6 (\bar{h}_{45} - \bar{h}_{75})}{30} \quad (20)$$

$$\left. \frac{\partial \Psi}{\partial Z} \right|_{90} \approx \left. \frac{\Delta \Psi}{\Delta Z} \right|_{90} = \frac{-12,6 (\bar{h}_{75} - \bar{h}_{105})}{30} \quad (21)$$

$$\left. \frac{\partial \Psi}{\partial Z} \right|_{120} \approx \left. \frac{\Delta \Psi}{\Delta Z} \right|_{120} = \frac{-12,5 (\bar{h}_{105} - \bar{h}_{135})}{30} \quad (22)$$

sendo: $\Delta \Psi$ = diferença de potencial total entre $Z=15$ e $Z=45$ c.,; $Z=45$ e $Z=75$ cm; $Z=75$ e $Z=105$ cm; $Z=105$ e $Z=135$ (cm)

ΔZ = distância entre os tensiômetros (cm)

\bar{h} = média das leituras dos dois tensiômetros insta

lados a cada profundidade (cm de Hg)

Efetuada-se as substituições das equações (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21) e (22) na equação (14) obtiveram-se as equações para o cálculo do fluxo de drenagem profunda nas profundidades estudadas.

$$q_{30} = \exp. 15.203 (3,0750-1) \cdot \frac{-12,6 (\bar{h}_{15} - \bar{h}_{45})}{30} \quad (23)$$

$$q_{60} = \exp. 12.508 (3,0180-1) \cdot \frac{-12,6 (\bar{h}_{45} - \bar{h}_{75})}{30} \quad (24)$$

$$q_{90} = \exp. 17.547 (3,1040-1) \cdot \frac{-12,6 (\bar{h}_{75} - \bar{h}_{105})}{30} \quad (25)$$

$$q_{120} = \exp. 31.310 (3,1990-1) \cdot \frac{-12,6 (\bar{h}_{105} - \bar{h}_{135})}{30} \quad (26)$$

as quais, integradas para um determinado período de tempo (em dias), forneceu a drenagem profunda em mm, para as profundidades de $Z = 30, 60, 90$ e 120 cm.

Devido a não ocorrência de precipitação pluviométrica (P , mm) durante o período estudado, este componente não foi considerado. Sua contribuição é medida através de pluviômetros e/ou pluviógrafos instalados na área.

A irrigação (I , mm) do consórcio foi realizada pelo método superficial de sulcos em nível, fechados no final e

interligados entre si. A distribuição da água nos sulcos foi através de tubos perfurados. O controle das irrigações e da determinação da lâmina d'água a ser fornecido era indicado pelos tensiômetros instalados às profundidades de 15 e 45 cm e baseados nas curvas características de água do solo das referidas profundidades. A irrigação ocorria sempre que o potencial matricial a 15 cm de profundidade atingia um valor médio de - 0,5 atm.

O escoamento superficial (R , mm), foi negligenciado, uma vez que a área do experimento foi em nível e fechada, impedindo qualquer fluxo superficial. Este componente pode ser obtido no caso de ser considerado pelo método direto através de calhas no final das parcelas.

3.3.3 - Evapotranspiração potencial através da medida direta da intensidade de evaporação do tanque "Classe A" ($mm.dia^{-1}$)

A evapotranspiração potencial de referência do tanque "Classe A", foi obtida a partir dos dados diários da evaporação em um tanque "Classe A", instalado próximo a área experimental empregando-se a expressão:

$$ETP = ECA \times K_p \quad (27)$$

sendo: ETP = evapotranspiração potencial (mm)

ECA = evaporação do tanque "Classe A" (mm)

K_p = coeficiente de tanque, obtido em tabela conforme recomendações de DOORENBOS & PRUITT (1975)

3.3.4 - Evapotranspiração atual (ETA)

A evapotranspiração atual (ETA) foi estimada através do balanço hídrico pela equação (09), tendo os demais componentes sido determinados de acordo com a metodologia descrita anteriormente.

3.3.5 - Coeficiente de cultura (K_c)

O coeficiente de cultura para o consórcio foi obtido para todo o seu desenvolvimento através da equação:

$$K_c = \frac{ETA}{ETP} = \frac{ETA}{ECA \times K_p} \quad (28)$$

onde: K_c = coeficiente de cultura

ETA = evapotranspiração atual (mm)

ETP = evapotranspiração potencial de referência (mm)

ECA = evaporação do tanque "Classe A" (mm)

K_p = coeficiente de tanque

3.3.6 - Relação entre a evapotranspiração atual e a evapotranspiração potencial estimada através das fórmulas empíricas de BLANEY & CRIDDLE (1950) e SILVA et alii (1978)

Foram determinados os valores do coeficiente de cultura (K_c), para as fórmulas empíricas de BLANEY & CRIDDLE (1950) e SILVA et alii (1978), a partir da evapotranspiração atual determinada pelo balanço hídrico para um período de três meses.

O método de BLANEY & CRIDDLE (1950) é baseado em dados climáticos (temperatura e percentagem de horas de luz solar), sua equação foi desenvolvida para períodos mensais e sua expressão usual empregada neste trabalho foi:

$$ETA = K_c (0,457 t + 8,13) p \quad (29)$$

e através da expressão (30) determinaram-se os valores do coeficiente de cultura (K_c) para a referida fórmula:

$$K_c = \frac{ETA}{f} = \frac{ETA}{(0,457 t + 813) p} \quad (30)$$

sendo: ETA = evapotranspiração atual obtida pelo balanço hídrico (mm/mes)

f = fator climático mensal

t = temperatura média mensal ($^{\circ}C$)

p = percentagem mensal de horas anuais de luz so-

lar em função da latitude

O método desenvolvido por SILVA et alii (1978) para estimativa da evapotranspiração potencial do Ceará, também foi baseado em elementos climáticos, e os dados obtidos foram correlacionados com os dados medidos em evapotranspirômetros modificados de THORNTHWAITE, para um período de 30 dias. A fórmula utilizada foi:

$$ETP = 27,3 t - 585 \quad (31)$$

sendo: ETP = evapotranspiração potencial (mm/mes)

t = temperatura média anual ($^{\circ}C$)

Com o emprego da relação (32) determinou-se o valor do coeficiente de cultura (K_c) mensal para o consórcio:

$$K_c = \frac{ETA}{ETP} \quad (32)$$

onde: ETA = evapotranspiração atual obtida pelo balanço hídrico (mm/mes)

ETP = evapotranspiração potencial estimada pelo método de SILVA et alii, 1978 (mm/mes)

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Uso consuntivo do consórcio

O balanço hídrico realizado durante 97 dias no consórcio feijão, milho e algodão, teve início no oitavo dia após o plantio, na fase de germinação, e foi encerrado na etapa final do ciclo, quando as culturas do milho e algodão já se encontravam próximas ao ponto de colheita.

A definições dos nove (9) períodos considerados para o balanço foi baseada nas irrigações ocorridas, com uma variação de 7 a 15 dias dentro dos intervalos, nos quais se estudou detalhadamente os componentes do balanço.

Nas TABELAS 3, 4, 5 e 6 encontram-se os valores dos componentes do balanço hídrico para as profundidades estudadas de 0-30; 0-60; 0-90 e de 0-120 cm, respectivamente.

Observa-se, na TABELA 3, que na primeira camada existe uma maior intensidade da evapotranspiração, o que se pode inferir a uma maior densidade de raízes. No tocante ao componente armazenamento, o sinal negativo significa que o consumo de água pelas culturas foi além da quantidade de água aplicada nas irrigações. Isto explica o fato da evapotranspiração ter sido maior que a quantidade de água aplicada pela irrigação em alguns períodos considerados.

TABELA 3 - Componentes do balanço hídrico do consórcio feijão, milho e algodão na profundidade de 0-30 cm.

Período	Intervalo dias	I (mm)	ΔA (mm)	Q_L (mm)	ETA (mm)	ETA (mm/dia)	Q_L (%)
20/09 a 02/10/84	12	11,30	- 29,10	- 11,20	29,20	2,43	27,72
02/10 a 10/10/84	8	43,60	+ 6,00	- 9,45	28,15	3,52	25,13
10/10 a 24/10/84	14	62,67	+ 2,10	- 10,56	50,01	3,57	17,43
24/10 a 31/10/84	7	59,00	- 3,90	- 23,92	39,98	5,57	38,03
31/10 a 08/11/84	8	70,00	- 6,90	- 9,69	67,21	8,40	12,60
08/11 a 20/11/84	12	83,00	- 1,80	- 0,61	84,19	7,02	0,72
20/11 a 27/11/84	7	69,00	+ 12,60	- 10,69	45,71	6,53	18,95
27/11 a 12/12/84	15	70,60	- 11,10	+ 2,29	83,99	5,60	+ 2,65
12/12 a 26/12/84	14	84,30	+ 1,20	- 8,83	74,27	5,31	10,63
20/09 a 26/12/84	97	553,47	- 30,90	- 82,66	501,71	5,17	-

TABELA 4 - Componentes do balanço hídrico do consórcio feijão, milho e algodão na profundidade de 0-60 cm.

Período	Intervalo dias	I (mm)	ΔA (mm)	Q_L (mm)	ETA (mm)	ETA (mm/dia)	Q_L (%)
20/09 a 02/10/84	12	11,30	- 36,00	- 7,93	39,37	3,28	16,76
02/10 a 10/10/84	8	43,60	+ 6,00	- 3,21	34,39	4,30	8,54
10/10 a 24/10/84	14	62,67	- 14,40	- 4,95	72,12	5,15	6,42
24/10 a 31/10/84	7	59,00	- 0,90	- 0,161	59,74	8,53	0,27
31/10 a 08/11/84	8	70,00	- 6,00	- 3,21	72,79	9,10	4,22
08/11 a 20/11/84	12	83,00	- 7,80	- 0,92	89,88	7,49	1,01
20/11 a 27/11/84	7	69,00	+ 17,70	- 0,52	50,78	7,25	1,01
27/11 a 12/12/84	15	70,60	- 18,00	- 1,33	87,27	5,82	1,50
12/12 a 26/12/84	14	84,30	+ 9,00	- 4,52	70,78	5,06	6,00
20/09 a 26/12/84	97	553,47	- 50,40	- 26,75	577,12	5,95	-

TABELA 5 - Componentes do balanço hídrico do consórcio feijão, milho e algodão na profundidade de 0-90 cm.

Período	Intervalo dias	I (mm)	ΔA (mm)	Q_L (mm)	ETA (mm)	ETA (mm/dia)	Q_L (%)
20/09 a 02/10/84	12	11,30	- 39,60	- 9,77	41,13	3,43	19,19
02/10 a 10/10/84	8	43,60	+ 5,90	- 5,45	32,25	4,03	14,45
10/10 a 24/10/84	14	62,67	- 22,40	- 8,39	76,68	5,48	9,86
24/10 a 31/10/84	7	59,00	+ 0,60	- 2,76	55,64	7,95	4,73
31/10 a 08/11/84	8	70,00	- 5,70	- 4,19	71,51	8,94	5,53
08/11 a 20/11/84	12	83,00	- 10,80	- 7,14	86,66	7,22	7,61
20/11 a 27/11/84	7	69,00	+ 20,40	- 0,94	47,66	6,81	1,93
27/11 a 12/12/84	15	70,60	- 21,60	- 4,65	87,55	5,84	5,04
12/12 a 26/12/84	14	84,30	+ 12,90	- 8,32	63,08	4,51	11,65
20/09 a 26/12/84	97	553,47	- 60,30	- 51,61	562,16	5,79	-

TABELA 6 - Componentes do balanço hídrico do consórcio feijão, milho e algodão na profundidade de 0-120 cm.

Período	Intervalo dias	I (mm)	ΔA (mm)	Q_L (mm)	ETA (mm)	ETA (mm/dia)	Q_L (%)
20/09 a 02/10/84	12	11,30	- 39,60		50,90	4,24	
02/10 a 10/10/84	8	43,60	+ 5,90		37,70	4,71	
10/10 a 24/10/84	14	62,67	- 22,40		85,07	6,08	
24/10 a 31/10/84	7	59,00	+ 0,60		58,40	8,34	
31/10 a 08/11/84	8	70,00	- 5,70	0	75,70	9,46	0
08/11 a 20/11/84	12	83,00	- 10,80		93,80	7,82	
20/11 a 27/11/84	7	69,00	+ 20,40		48,60	6,94	
27/11 a 12/12/84	15	70,60	- 21,60		92,20	6,15	
12/12 a 26/12/84	14	84,30	+ 12,90		71,40	5,10	
20/09 a 26/12/84	97	553,47	- 60,30		613,77	6,33	

A ocorrência de um grande percentual de fluxo descendente (*drenagem profunda*) nesta camada é explicada pela lâmina de irrigação aplicada, pois a mesma era destinada a suprir uma camada de 0-60 cm. Ressalta-se, assim, a importância da drenagem profunda no cálculo de um balanço hídrico, pois no caso desse componente não ser considerado, os índices de eficiência dos métodos de irrigação e as perdas por evapotranspiração mostrar-se-ão elevados em comparação aos dados reais.

Para estimar o percentual de drenagem profunda, considerou-se 100% do somatório dos valores de drenagem (Q_L) e evapotranspiração atual (ETA), tendo os valores de Q_L variado de - 27,72% no primeiro período ao valor positivo de 2,65%, significando que neste período houve ascensão capilar.

REICHARDT (1974) cita que PEREIRA et alii (1974) obtiveram valores de drenagem profunda (Q_L) de até 50% da perda total, e VACHAUD et alii (1973) encontraram valores de Q_L da mesma ordem de grandeza da evapotranspiração (ETA), o que implicaria em um erro de 100% se Q_L fosse desprezada. Em um ciclo de um ano, estes autores verificaram que a drenagem profunda foi de 30 a 35% da perda total de água.

Nas TABELAS 4 e 5 verifica-se uma grande redução da componente drenagem profunda, o que vem demonstrar que a lâmina de irrigação aplicada foi coerente com a profundidade definida, ou seja de 0-60 cm.

Verifica-se, na TABELA 6, onde se expõe o balanço

final do consórcio na profundidade considerada para o estudo, que os totais de água, aplicados por irrigação e consumidos por evapotranspiração, atingiram valores de 553,47 e 613,77 mm respectivamente. A explicação para tal fato se deve ao reinício das irrigações em alguns períodos considerados, ocorrendo as irrigações abaixo do nível crítico de umidade definido.

A taxa de evapotranspiração atual do consórcio atingiu um valor médio de 6,33 mm/dia, variando de 4,24 mm/dia no início a 5,10 mm/dia no final do ciclo, tendo alcançado um máximo de 9,46 mm/dia no período crítico (floração/frutificação).

Os valores de drenagem profunda, na profundidade de 120 cm, foram nulos, não havendo praticamente variação dos potenciais totais entre as camadas de 105 a 135 cm do solo.

Na TABELA 7, encontram-se para todos os períodos considerados, os valores medidos da evaporação do tanque "Classe A" (ECA) e os respectivos valores de coeficientes do tanque (K_p) determinados em função da umidade relativa, velocidade do vento e condições de exposição do tanque, conforme recomendações de DOORENBOS & PRUITT (1975).

Os resultados da evapotranspiração potencial (ETP) foram estimados com base na evaporação corrigida do tanque "Classe A". Os valores da evapotranspiração atual (ETA) foram encontrados a partir do balanço hídrico, cujo resultado final encontra-se na TABELA 6. Os resultados médios dos períodos considerados, para evaporação do tanque "Classe A",

TABELA 7 - Coeficientes do tanque "Classe A", de cultura e de irrigação em função do tanque para o consórcio feijão, milho e algodão nos nove (9) períodos considerados no balanço.

Período	Intervalo dias	ECA		Kp	ETP		ETA		Kc	Ki
		mm	mm/dia		mm	mm/dia	mm	mm/dia		
20/09 a 02/10/84	12	99,66	8,31	0,70	69,76	5,81	50,90	4,24	0,73	0,51
02/10 a 10/10/84	8	64,46	8,06	0,71	45,12	5,64	37,70	4,71	0,84	0,59
10/10 a 24/10/84	14	130,10	9,29	0,71	91,07	6,50	85,07	6,08	0,93	0,66
24/10 a 31/10/84	7	54,02	7,72	0,74	40,23	5,75	58,04	8,34	1,45	1,073
31/10 a 08/11/84	8	70,78	8,85	0,70	49,55	6,19	75,70	9,46	1,53	1,071
08/11 a 20/11/84	12	95,62	7,97	0,70	69,93	5,58	93,80	7,82	1,34	0,94
20/11 a 27/11/84	7	63,10	9,01	0,70	44,17	6,31	48,60	6,94	1,10	0,77
27/11 a 12/12/84	15	118,28	7,88	0,71	84,29	5,62	92,20	6,15	1,09	0,77
12/12 a 26/12/84	14	114,58	8,18	0,78	89,23	6,37	71,40	5,10	0,80	0,62

ECA = evaporação do tanque "Classe A" em (mm)

ETP = evapotranspiração potencial corrigida pela evaporação do tanque "Classe A" em (mm)

ETA = evapotranspiração atual, determinada pelo balanço hídrico em um volume de controle de solo, em (mm)

Kp = coeficiente de tanque

Kc = coeficiente de cultura

Ki = coeficiente de irrigação

evapotranspiração potencial e evapotranspiração atual foram 8,36; 5,98 e 6,33 mm/dia respectivamente. Tem-se ainda nessa tabela os valores de coeficientes de cultura (K_c) e coeficiente de irrigação (K_i).

A importância desses coeficientes, no caso do K_c , está na sua extrapolação para outras regiões, pois com o uso de dados de evapotranspiração potencial de referência, tal como a utilização de um tanque "Classe A" corrigido pelo respectivo K_p , pode-se encontrar o consumo de água por uma cultura ou requerimento de irrigação.

O coeficiente de irrigação (K_i) fornece para a região de onde foi observado, o requerimento de irrigação para a determinada cultura, bastando multiplicá-lo pela medida de evaporação do tanque "Classe A". O valor médio de K_i determinado foi de 0,75.

O valor médio de K_c foi de 1,05 para o consórcio, que difere bastante da média das três (3) culturas se fosse tomado isoladamente. Na literatura revisada para condições de clima semelhante e em regime de irrigação, segundo indicação de CHANG (1968), citado por BERLATO & MOLION (1981), os valores médios foram de 0,80 para o milho e 0,65 para o algodão, tendo SAUNDERS et alii (1981) determinado um valor médio para o feijão-de-corda de 0,98.

Na FIGURA 6 consta as variações diárias, em mm/dia, da evaporação do tanque "Classe A" (ECA), evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração atual (ETA), para os diferentes períodos considerados. Quando comparados entre si,

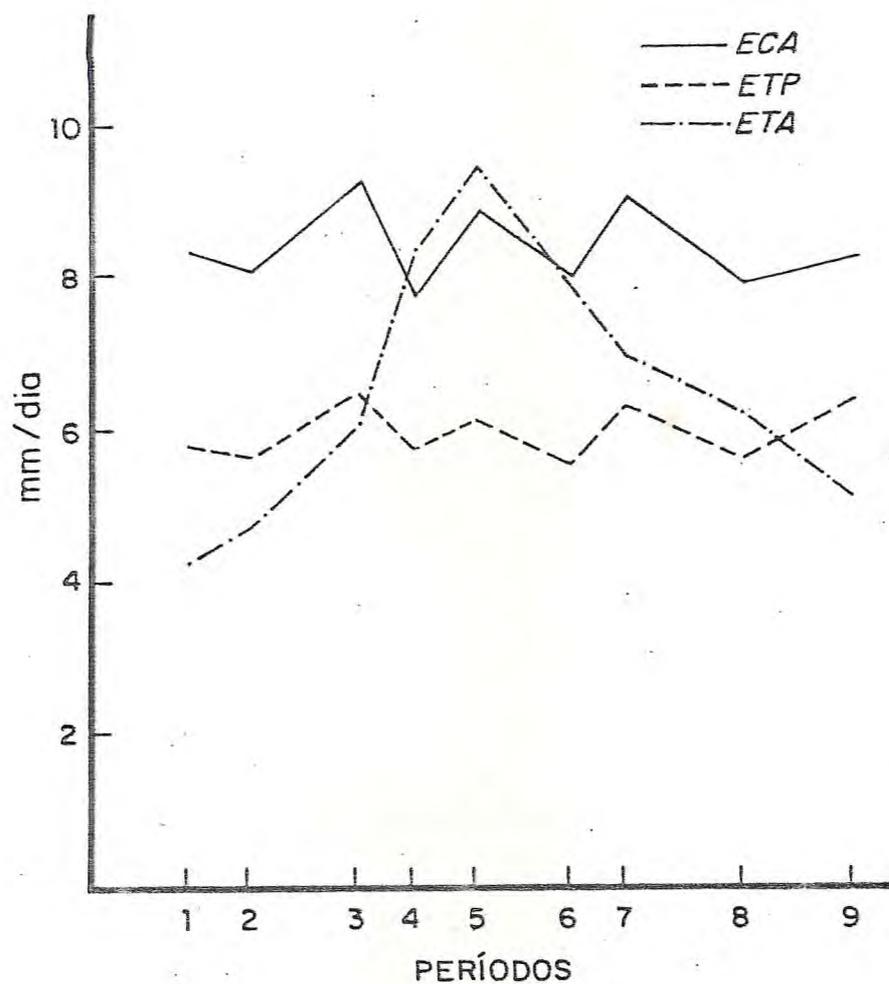


FIGURA 6 - Valores em mm/dia da evaporação do tanque "Classe A" (ECA), evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração atual (ETA)

observa-se que os valores da evapotranspiração atual (ETA) são bem elevados, chegando a ultrapassar os valores da ECA no 4º e 5º período. No que se refere à ETP, esta é superada pela ETA em quase todo o ciclo do consórcio (*período crítico*).

A FIGURA 7 apresenta os diferentes valores do coeficiente de cultura (K_c), para todos os períodos estudados. Constata-se uma tendência destes valores em se distribuírem segundo a curva de GAUSS, o que relaciona o desenvolvimento das culturas com o consumo de água. Estes resultados eram esperados, pois o estudo isolado de cada cultura mostra a tendência desse coeficiente em apresentar uma distribuição normal (PRUITT *et alii*, 1972). Os períodos 4º, 5º e 6º apresentaram-se com os valores maiores de K_c , correspondentes a 1,45; 1,53 e 1,34 respectivamente, e devem ser considerados como o período crítico do consórcio.

As FIGURAS 6 e 7 mostram as taxas de evapotranspiração e os coeficientes de cultura do consórcio ou sejam, 5,01; 7,96; 8,07 e 6,06 mm/dia, e de 0,83; 1,30; 1,32 e 0,99 respectivamente, nas fases de desenvolvimento vegetativo, início da floração, floração/frutificação e maturação.

Com os dados acumulados de evapotranspiração (ETP) e evapotranspiração atual (ETA) em relação ao tempo, foram elaborados as curvas, através de regressão linear, apresentados na FIGURA 8. Suas respectivas equações de regressão foram: $ETP = - 1,9281 + 6,0276 T$ e $ETA = - 43,227 + 6,9891 T$. Os coeficientes de correlação simples (r) e de determinação

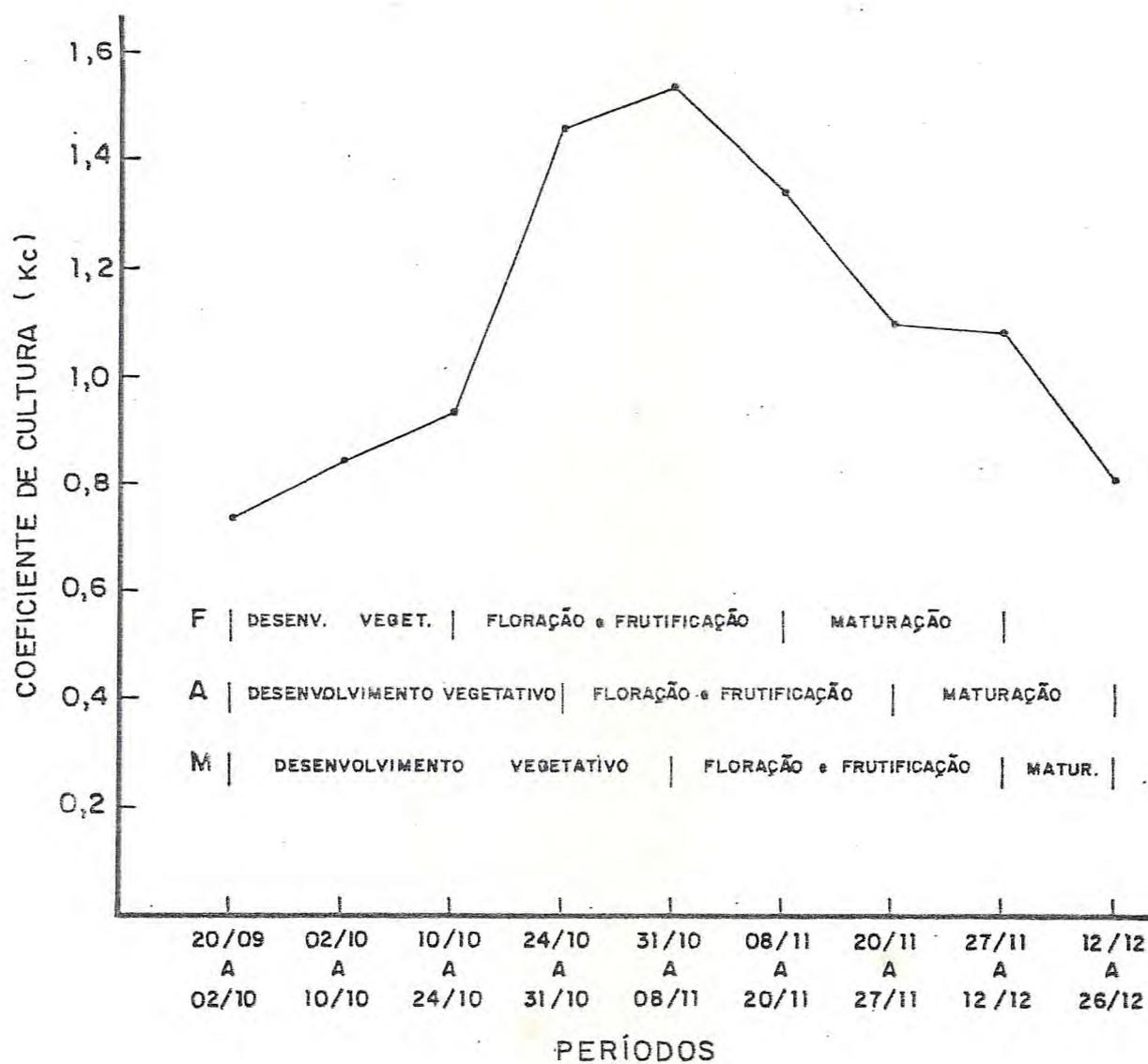


FIGURA 7 - Coeficiente de cultura (Kc) do consórcio feijão, milho e algodão em regime de irrigação.

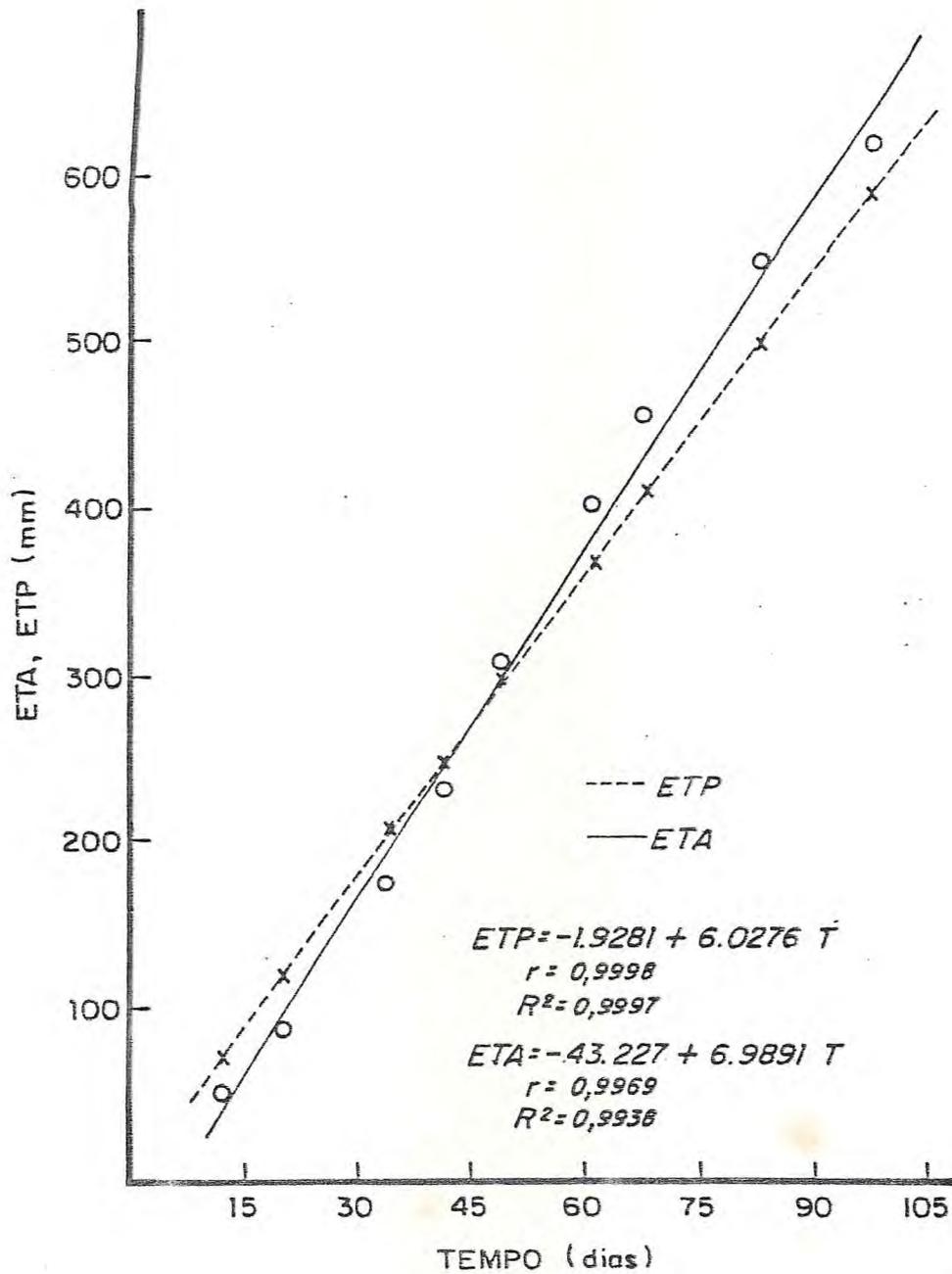


FIGURA 3 - Curvas de regressão linear da evapotranspiração atual acumulada do consórcio, ETA (mm) e da evapotranspiração potencial acumulada, ETP (mm).

(R^2) são 0,9998 e 0,9997 para ETP, e 0,9969 e 0,9938 para ETA, respectivamente.

Analisando a FIGURA 8, observa-se que os valores de ETP e ETA estão bastante próximos um do outro. A partir de um determinado tempo, a ETA ultrapassa a ETP, demonstrando que o consórcio se desenvolveu sob ótimas condições de umidade.

A FIGURA 9 mostra a relação entre os valores de K_i e K_c , representada pela curva obtida por regressão linear. Os coeficientes de correlação simples (r) e de determinação (R^2) foram de 0,9927 e 0,9855, respectivamente.

As FIGURAS de 10 a 18, apresentam o comportamento do potencial matricial (Ψ_m) e o conteúdo de água (θ) no perfil do solo. Nota-se que houve uma redução de θ mais intensiva até a profundidade de 45 cm, o que evidencia uma maior atividade das raízes nesta camada. Quando ao potencial matricial, verifica-se uma relação direta com o conteúdo de água θ , pois a medida que se reduz θ , há também uma redução do potencial matricial à cada profundidade. A partir de 45 cm, o conteúdo de água sofre ligeiros acréscimos provocados pelo fluxo descendentes até a profundidade de 75 cm, quando novamente torna a diminuir devido ao processo lento de redistribuição interna.

De acordo com os dados encontrados na TABELA 8, construiu-se a FIGURA 19, que mostra os valores do coeficiente de cultura (K_c) para as fórmulas empíricas de BLANEY & CRIDDLE (1950) e de SILVA et alii (1978); como também para a ETP obtida

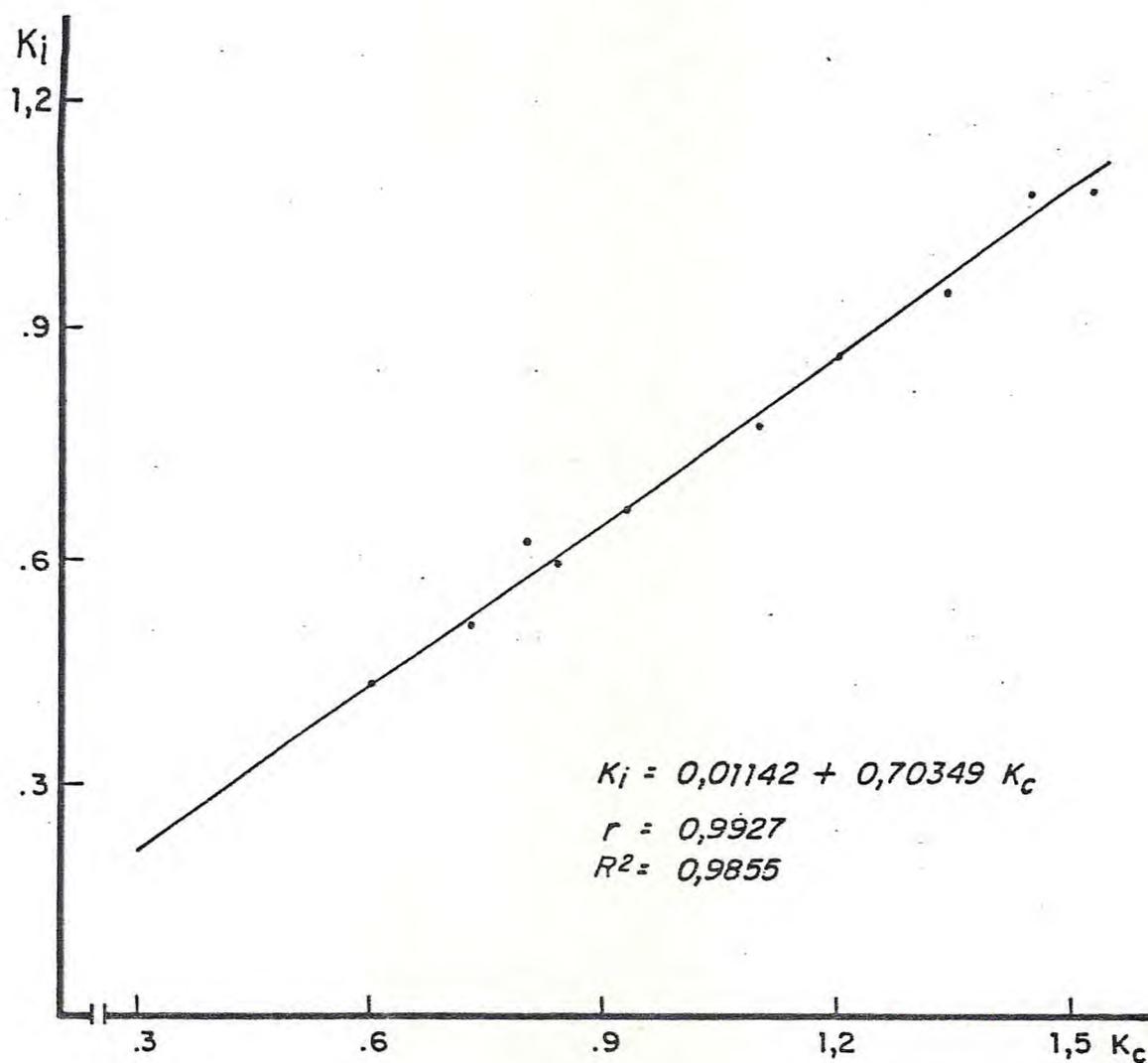


FIGURA 9 - Curva de regressão linear do coeficiente de irrigação (K_i) em função do coeficiente de cultura (K_c) para o consórcio.

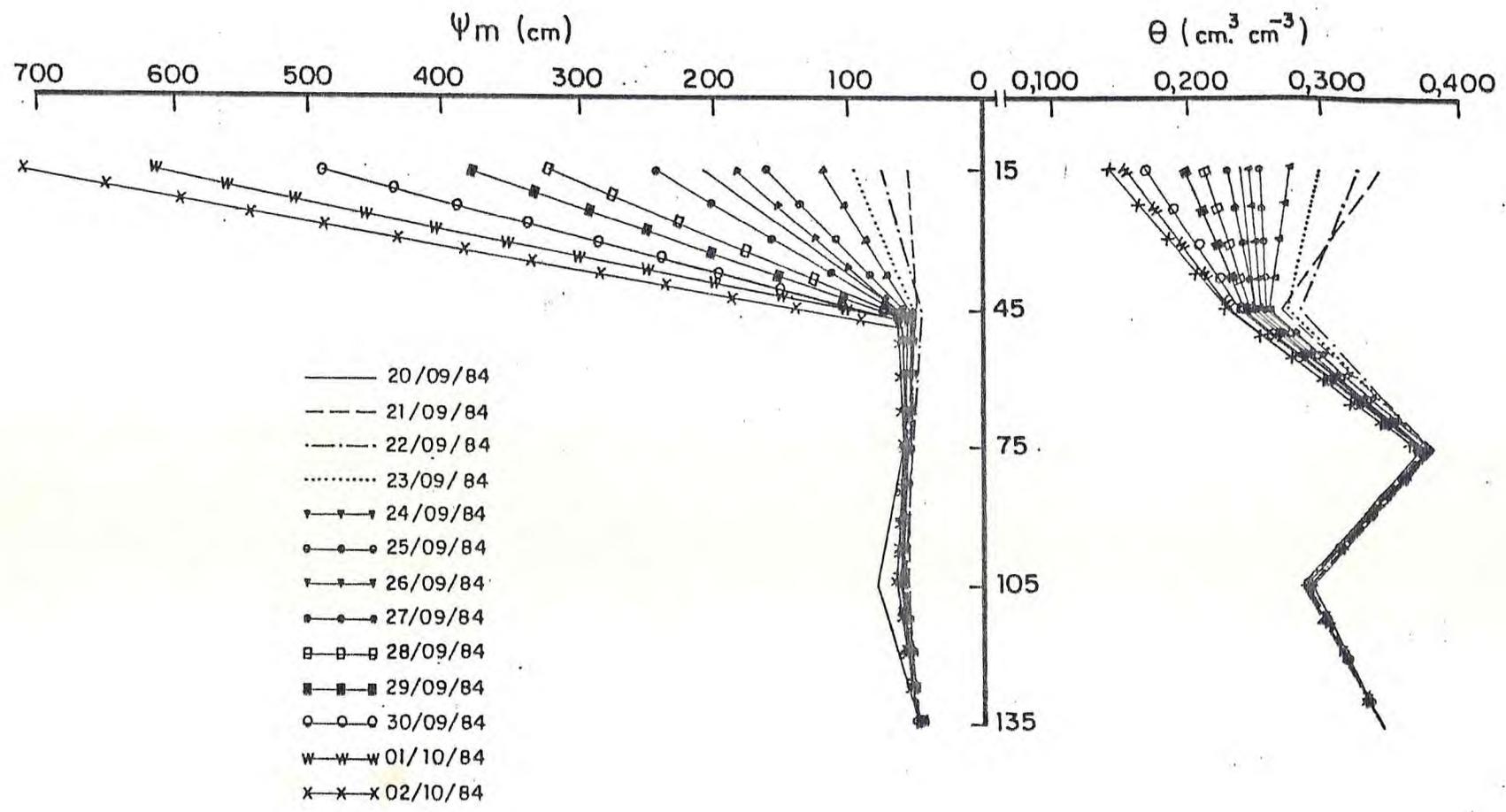


FIGURA 10 - Variação diária do conteúdo de água (θ) e potencial matricial (Ψ_m) na profundidade (Z) de 0 a 135 cm no 1º período.

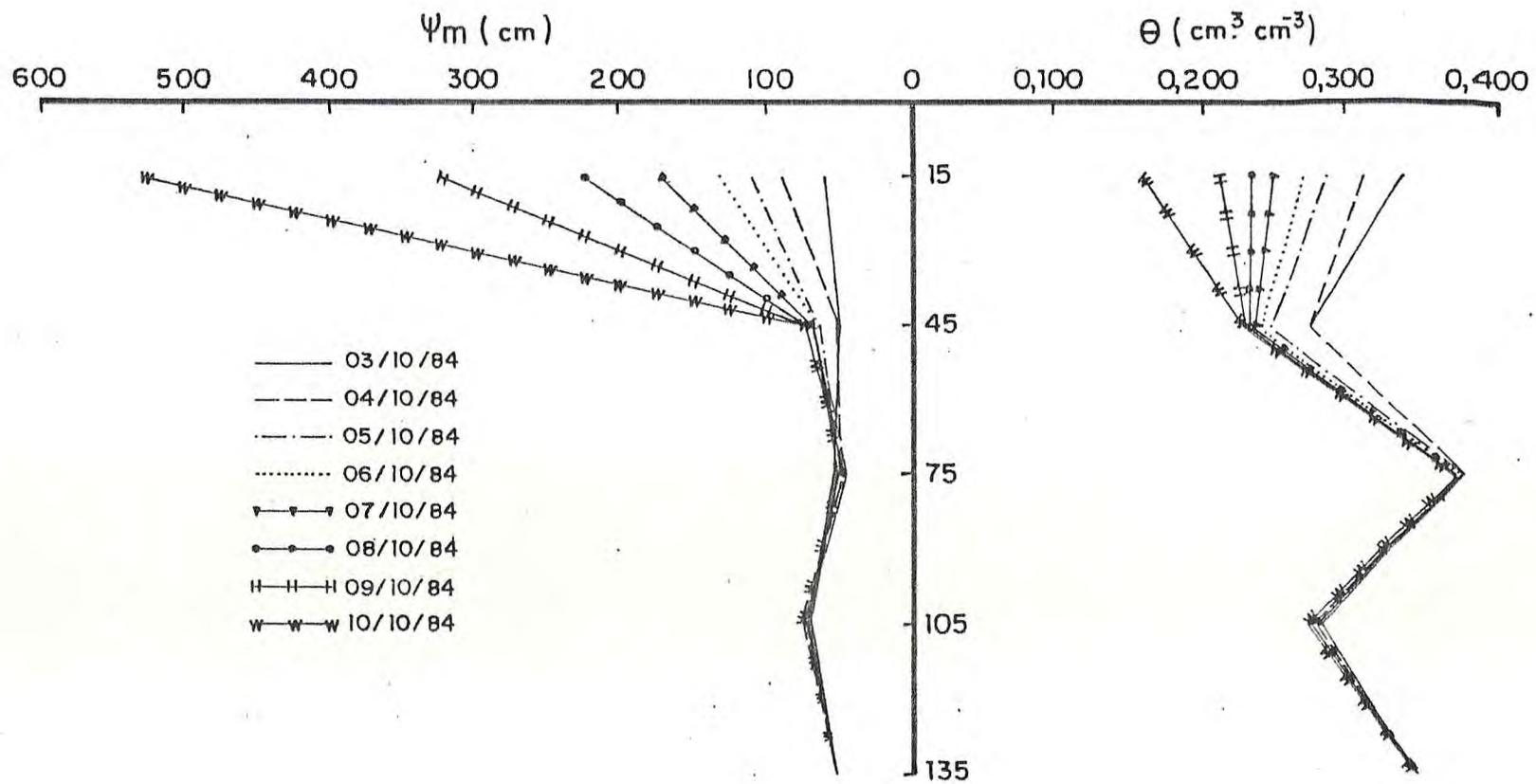


FIGURA 11 - Variação diária do conteúdo de água (θ) e potencial matricial (Ψ_m) na profundidade (Z) de 0 a 135 cm no 2º período.

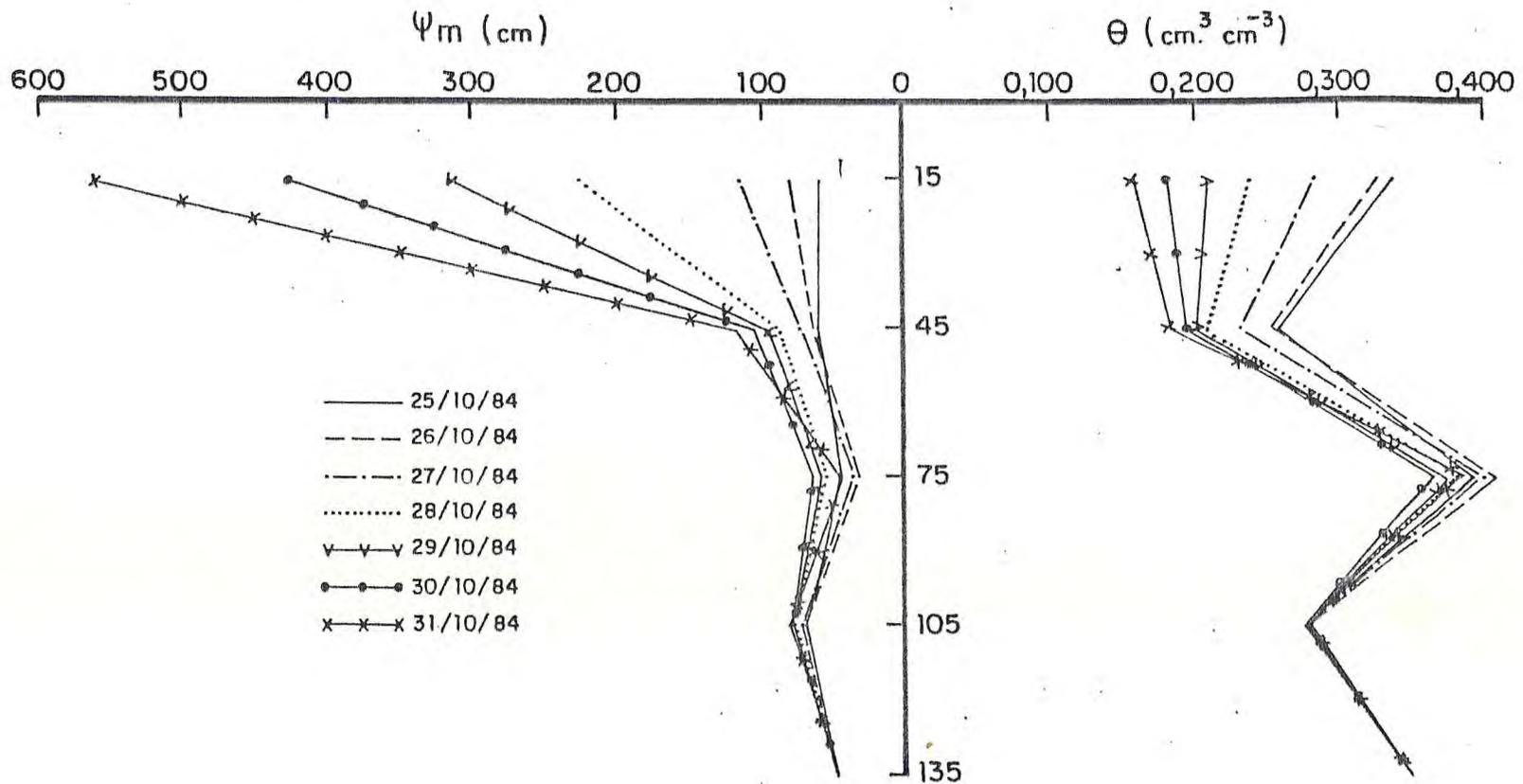


FIGURA 13 - Variação diária do conteúdo de água (θ) e potencial matricial (Ψ_m) na profundidade (Z) de 0 a 135 cm no 49 período.

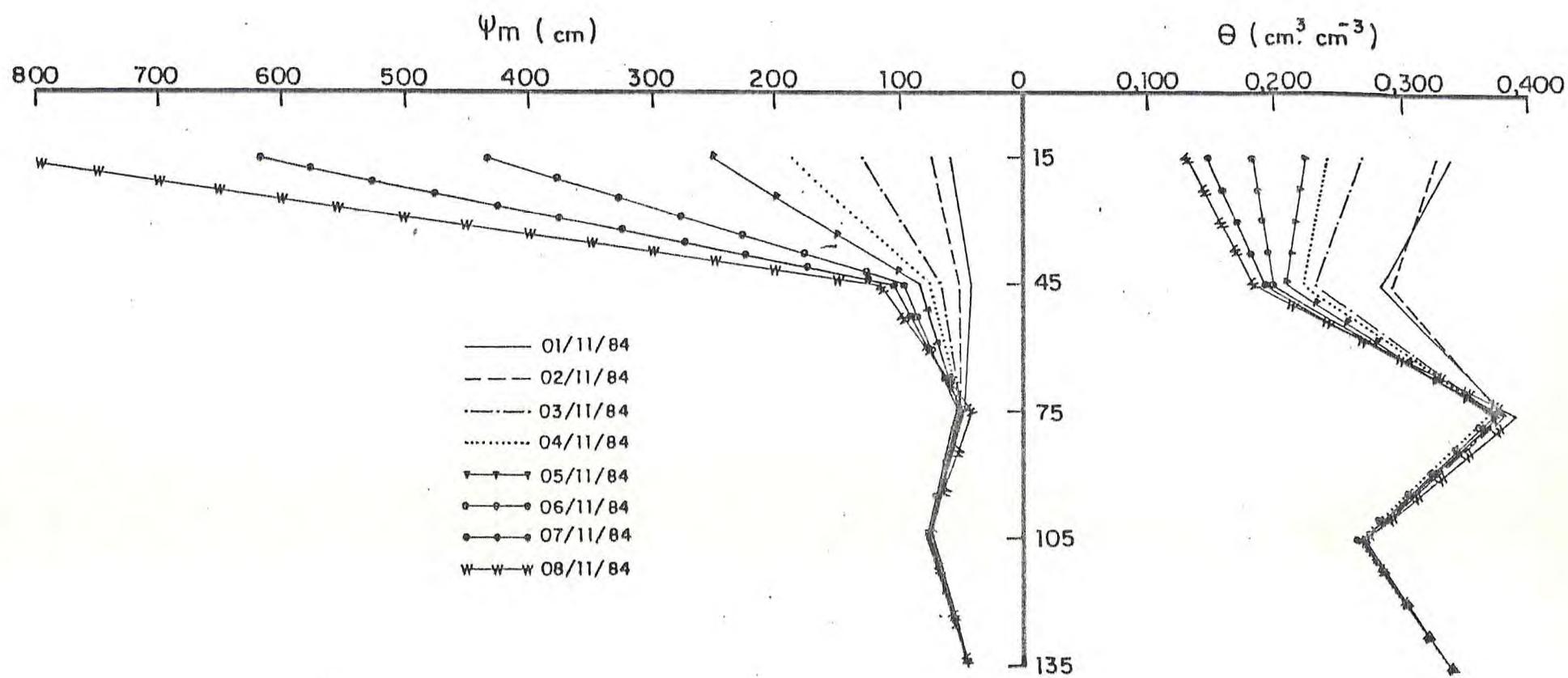


FIGURA 14 - Variação diária do conteúdo de água (θ) e potencial matricial (Ψ_m) na profundidade (Z) de 0 a 135 cm no 5º período

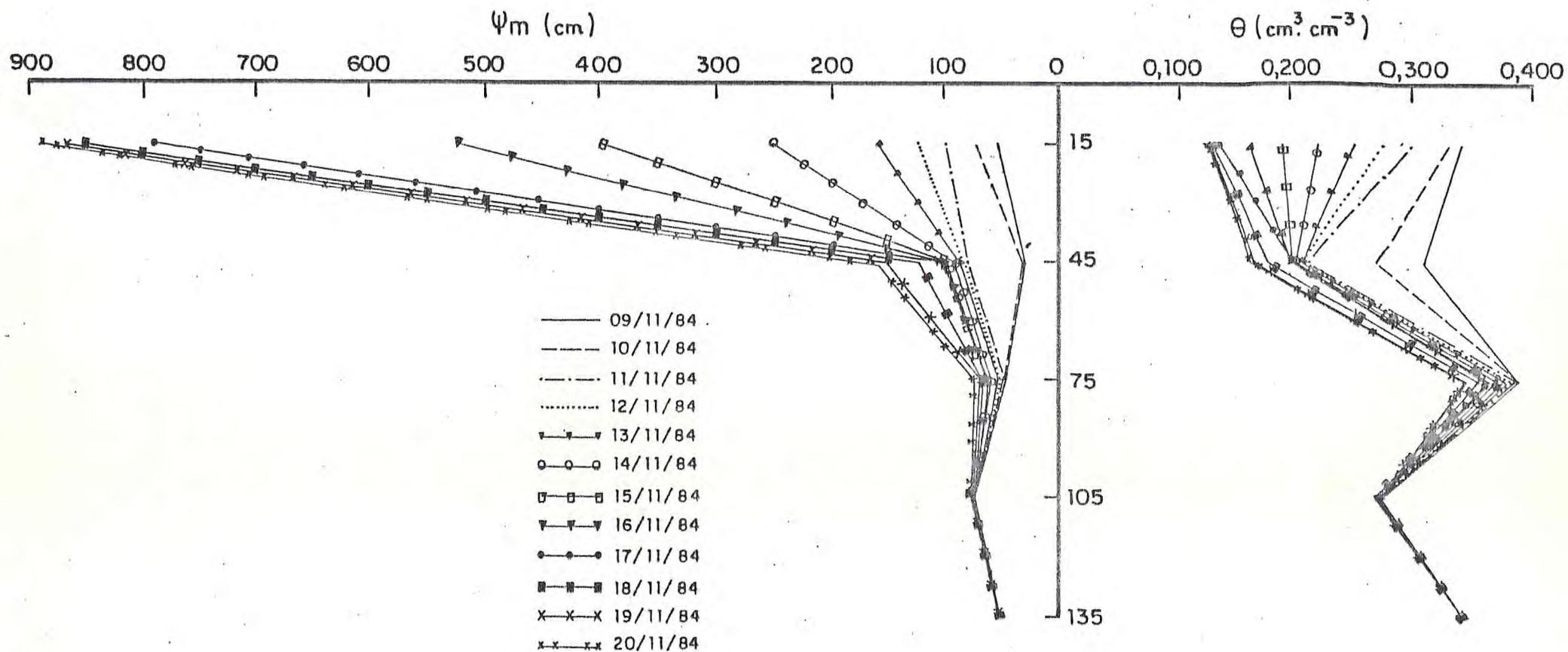


FIGURA 15 - Variação diária do conteúdo de água (θ) e potencial matricial (Ψ_m) na profundidade (Z) de 0 a 135 cm no 6º período.

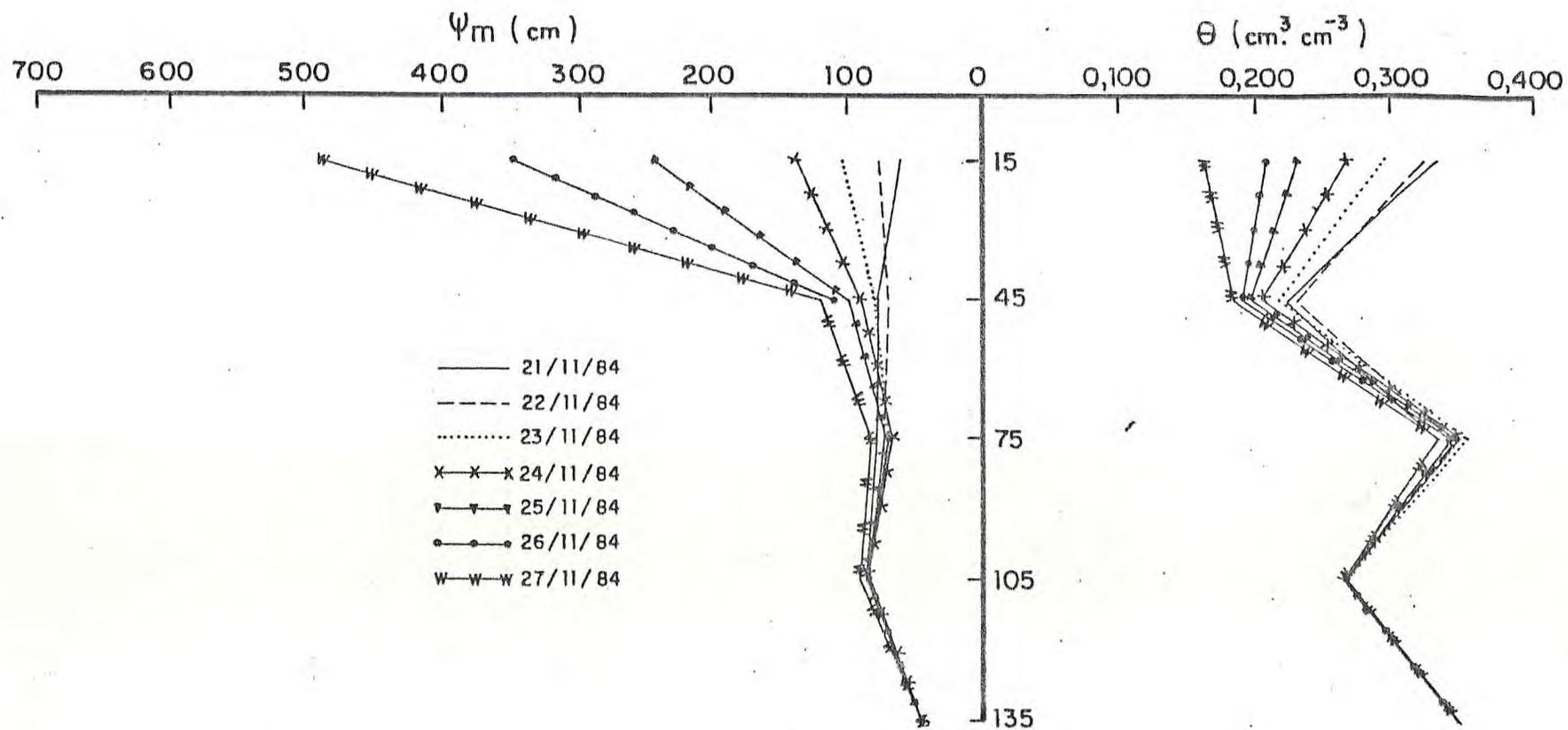


FIGURA 16 - Variação diária do conteúdo de água (θ) e potencial matricial (Ψ_m) na profundidade (Z) de 0 a 135 cm no 7º período.

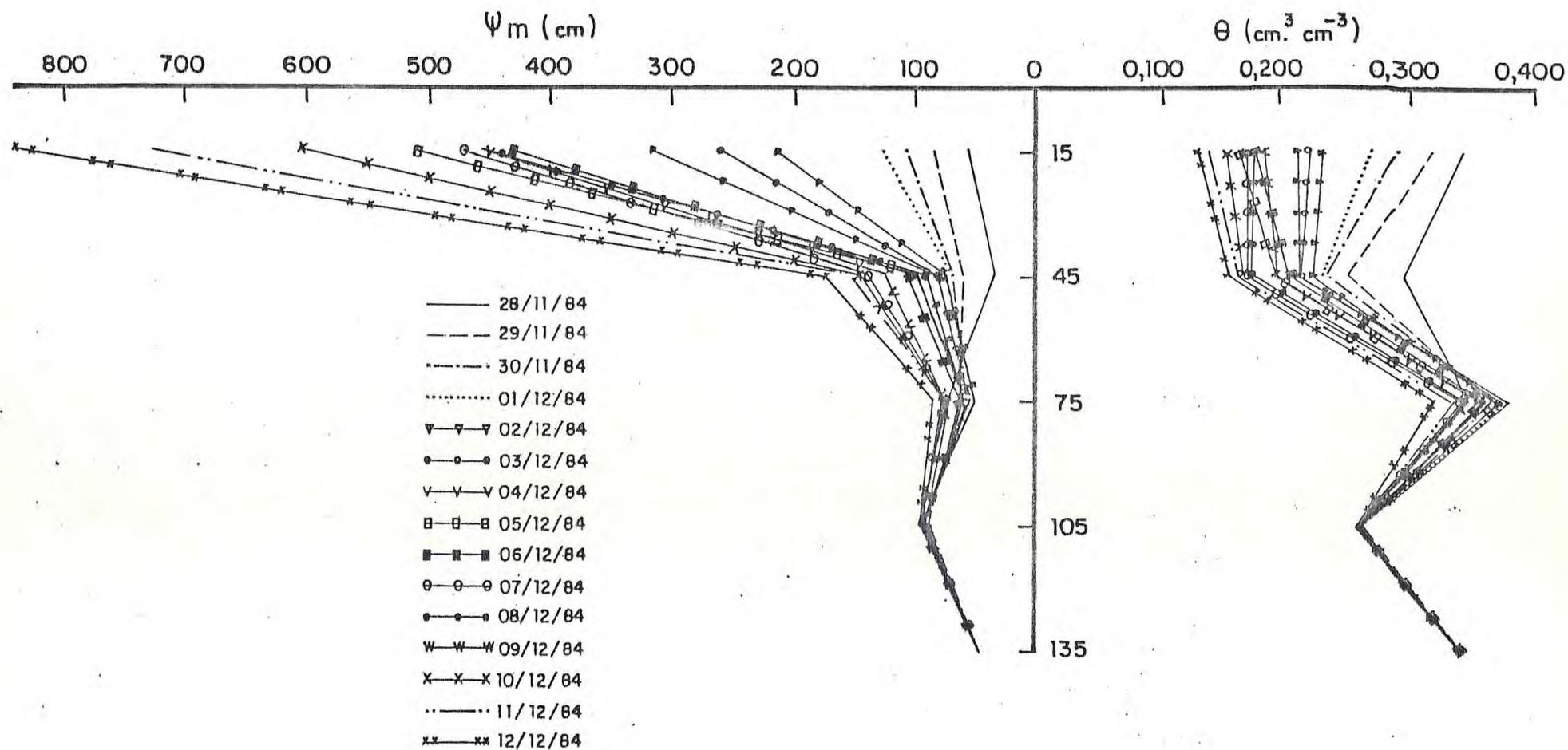


FIGURA 17 - Variação diária do conteúdo de água (θ) e potencial matricial (Ψ_m) na profundidade (Z) de 0 a 135 cm no 8º período.

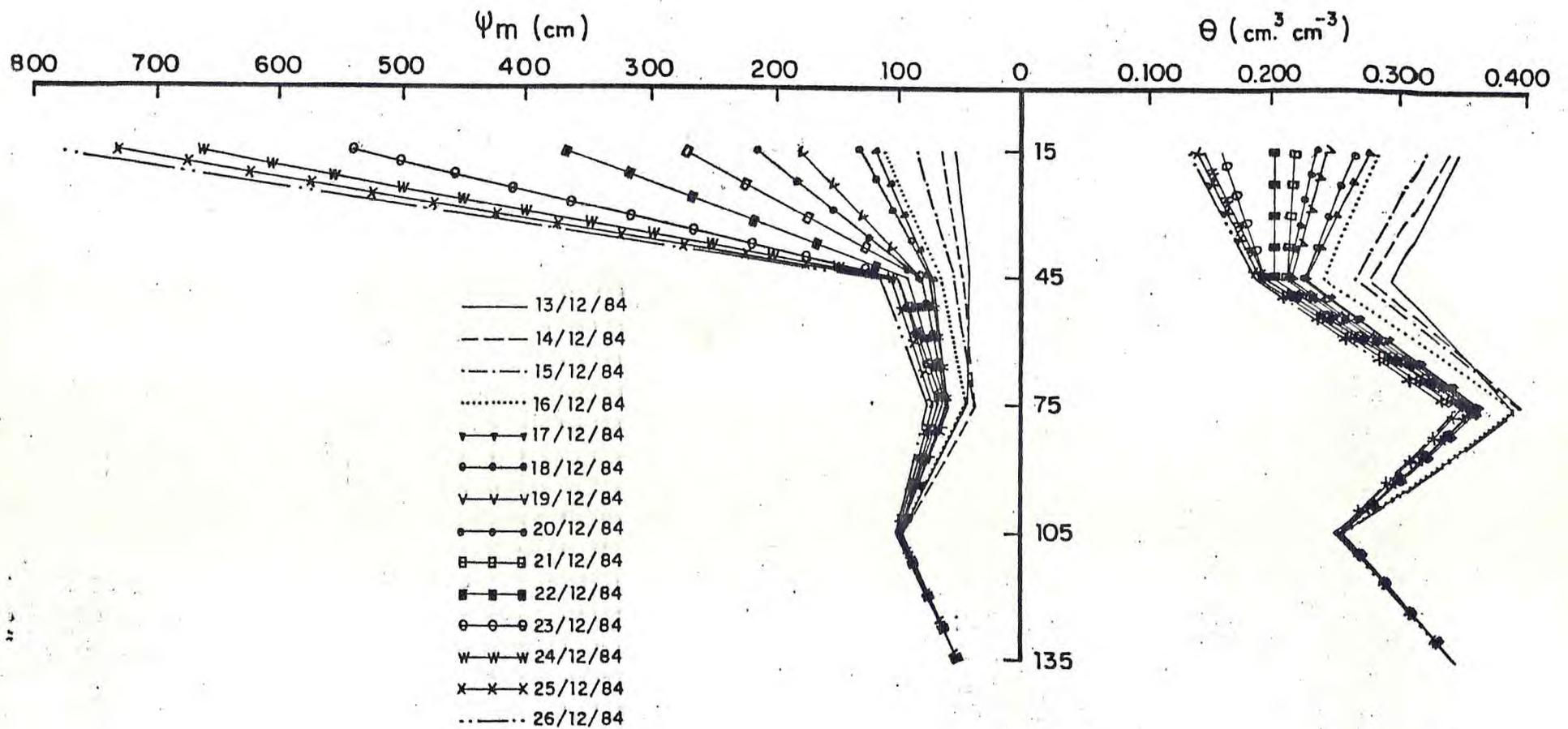


FIGURA 18 - Variação diária do conteúdo de água (θ) e potencial matricial (Ψ_m) na profundidade (Z) de 0 a 135 cm no 9º período.

TABELA 8 - Valores de Kc para as fórmulas empíricas de BLANEY & CRIDDLE (1950) e SILVA et alii (1978) e tanque "Classe A" obtidos a partir da ETA calculada pelo balanço hídrico.

Meses	BLANEY & CRIDDLE	SILVA et alii	Tanque "Classe A"
Outubro	1,04	0,98	1,03
Novembro	1,33	1,15	1,33
Dezembro	0,92	0,82	0,91
Média	1,10	0,98	1,09

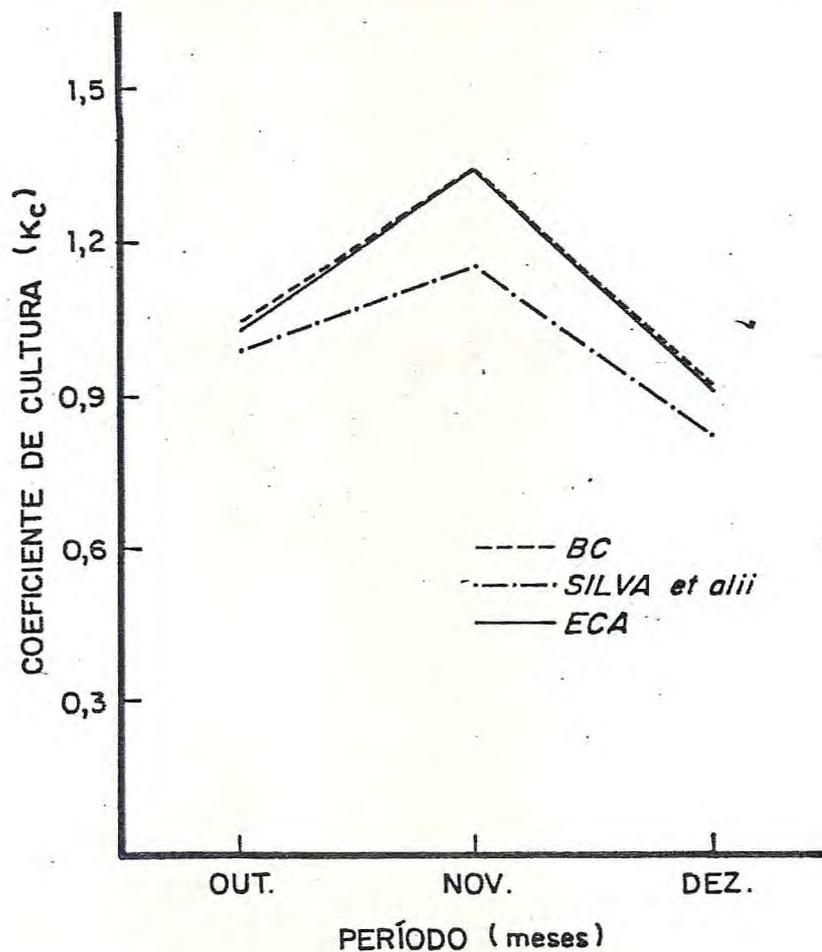


FIGURA 19 - Valores de K_c para as fórmulas empíricas de BC, SILVA et alii e tanque "Classe A" obtidos a partir da ETA calculada pelo balanço hídrico.

do tanque "Classe A", no período de três (3) meses. Os valores de K_c , obtidos pela fórmula de BLANEY & CRIDDLE (1950), e os valores para o tanque "Classe A", foram praticamente iguais, apresentando os respectivos K_c médios de 1,10 e 1,09, enquanto o K_c obtido pela fórmula de SILVA *et alii* (1978) foi de 0,98, fato este atribuído aos valores de temperatura ocorridos naquele período, foram bem superiores aos recomendados pelos autores.

4.2 - Elementos básicos de irrigação do consórcio

Na TABELA 9, estão os elementos básicos da irrigação do consórcio obtidos durante o período hídrico.

O ciclo do consórcio foi de aproximadamente 113 dias, contados a partir de 12/09/84, quando foi efetuado o plantio.

As irrigações ocorriam toda vez que os tensiômetros, instalados a 15 cm de profundidade, indicavam um potencial matricial de - 0,5 atm. No entanto, devido a causas inerentes ao experimento, o reinício das irrigações ocorreu com um valor médio de potencial matricial de - 0,587 atm.

Com a finalidade de elevar a capacidade de campo, numa camada de 60 cm, foram calculadas as lâminas de irrigação requeridas, baseadas nas leituras dos tensiômetros às profundidades de 15 e 45 cm, e nas curvas características

TABELA 9 - Elementos básicos de irrigação obtidos durante o balanço hídrico.

Data	Profundidade (cm)	θ máxima (cm ³ .cm ⁻³)	Ψ_m máxima (cm)	θ mínimo (cm ³ .cm ⁻³)	Ψ_m mínimo (cm)	$\Delta\theta$ (cm ³ .cm ⁻³)	Lâmina liq. parcial (mm)	Lâmina liq. total (mm)	Eficiência Estimada (%)	Lâmina bruta (mm)	Turno de rega (dias)	Dotação diária (mm)	Núm. de Irrig. (dia)
20/09/84	15	0,273	- 125,72	0,239	- 205,10	0,034	10,2	10,20	0,9	11,3			1
02/10/84	15	0,273	- 125,72	0,161	- 539,00	0,112	33,6				12	3,63	
	45	0,247	- 64,22	0,228	- 73,04	0,019	5,7	39,30	0,9	43,60			2
10/10/84	15	0,273	- 125,72	0,162	- 520,00	0,111	33,3				8	7,83	
	45	0,247	- 64,22	0,170	- 143,60	0,077	23,1	56,40	0,9	62,67			3
24/10/84	15	0,273	- 125,72	0,170	- 490,00	0,103	30,9				14	4,21	
	45	0,247	- 64,22	0,172	- 139,82	0,075	22,5	53,40	0,9	59,00			4
31/10/84	15	0,273	- 125,72	0,154	- 580,00	0,119	35,7				7	10,00	
	45	0,247	- 64,22	0,158	- 175,00	0,089	26,7	62,40	0,9	70,00			5
08/11/84	15	0,273	- 125,72	0,133	- 828,80	0,140	42,0				8	10,38	
	45	0,247	- 64,22	0,138	- 298,00	0,109	32,7	74,70	0,9	83,00			6
20/11/84	15	0,273	- 125,72	0,137	- 740,00	0,136	40,8				12	5,75	
	45	0,247	- 64,22	0,175	- 136,00	0,072	21,6	62,40	0,9	69,00			7
27/11/84	15	0,273	- 125,72	0,153	- 609,56	0,120	36,0				7	10,09	
	45	0,247	- 64,22	0,155	- 190,00	0,092	27,6	63,60	0,9	70,60			8
12/12/84	15	0,273	- 125,72	0,135	- 790,00	0,138	41,4				15	5,62	
	45	0,247	- 64,22	0,132	- 360,00	0,115	34,5	75,90	0,9	84,30			9

do solo das respectivas profundidades, com uma eficiência de aplicação estimada de 90%. A lâmina média por irrigação foi de 61,49 mm, com um valor médio de turno de rega de 10 dias. Foram efetuadas nove (9) irrigações durante todo o ciclo do consórcio.

5 - CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- 5.1 - Os valores médios diários encontrados, durante o período considerado para evaporação do tanque "Classe A", evapotranspiração potencial e evapotranspiração atual, foram respectivamente 8,36; 5,98 e 6,33 mm/dia;
- 5.2 - O coeficiente de cultura (K_c) médio para o consórcio no período estudado, foi de 1,05; e através das fórmulas empíricas de BLANEY & CRIDDLE (1950) e SILVA et alii (1978), alcançou valores de 1,10 e 0,98 respectivamente;
- 5.3 - As taxas de evapotranspiração atual do consórcio, por estágios de desenvolvimento, foram de 5,01; 7,96; 8,07 e 6,06 mm/dia, correspondendo aos valores de coeficientes de cultura (K_c) de 0,83; 1,30; 1,32 e 0,99, nos estágios de desenvolvimento vegetativo, início da floração, floração/frutificação e maturação, respectivamente;

5.4 - Durante o ciclo do consórcio, foram aplicados um total de 553,47 mm de água, com uma lâmina média por irrigação de 61,49 mm. O turno de rega médio foi de 10 dias, com o número de nove (9) irrigações ocorridas durante o ciclo.

6 - RECOMENDAÇÕES

Considerando, que este estudo foi desenvolvido durante um ano agrícola totalmente atípico às condições normalmente encontradas no semi-árido do Nordeste, ou seja, o ano de 1984 que marcou o fim de uma prolongada estiagem de 5 anos, recomenda-se pois a repetição do experimento, tanto para o mesmo consórcio feijão, milho e algodão, como também para outros consórcios de expressão econômica na região.

O método do balanço hídrico, em um volume de controle de solo é um recurso bastante seguro e aplicável na determinação da evapotranspiração de uma cultura, desde que um conhecimento prévio detalhado das características físico-hídricas do perfil do solo seja feito.

7 - LITERATURA CITADA

- ASSIS, F.N. de - O Uso do Evapotranspirômetro no Estudo de Algumas Relações entre Evapotranspiração Medida e Estimada. Piracicaba. 68 po., 1978 (Dissertação de Mestrado).
- AL-KHAFAF, S.; WIERENGA, P.J. & WILLIAMS, B.C. - Evaporative Flux from Irrigated Cotton as Related to Leaf Area Index, Soil Water, and Evaporative Demand. Agron. J., V. 70:912-916, November/December, 1978.
- ALBÉRIO, I.A.S. - Estudo sobre Modificações Introduzidas no Tanque "Classe A" e no Método de Penman. Piracicaba. 91p. 1979 (Dissertação de Mestrado).
- BRYAN, B.B. & BROWN, D.A. - Field Measurement of Evapotranspiration of Cotton. Transactions of the ASAE. 6(3)217-219, 22, 1963.
- BRUNINI, O.; ALFONSI, R.M.; SANTOS, J.M.; ORTOLONI, A.A.; PEDRO, Jr. M.J.; ANGELOCI, L.R. - Necessidades em Água por Cultura de Arroz em Condições de Sequeiro. In: III SEMINÁRIO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, Fortaleza, 1975. Anais, V./, p. 139-144.
- BRUNINI, O.; GROHMANN, F. & SANTOS, J.M. - Balanço Hídrico em Condições de Campo para Dois Cultivares de Arroz sob Duas Densidades de Plantio. Rev. Bras. de Ciência do Solo. 5:1-6. Jan/Abri, 1981.

- BERLATO, M.A. & MOLION, L.C.B. - Evaporação e Evapotranspiração. Instituto de Pesquisas Agronômicas. Boletim Técnico nº 7. Porto Alegre, p. 3-96, 1981.
- BERNARDO, S. - Manual de Irrigação. Viçosa-MG. 2ª Edição. 463 p, 1982.
- CRUCIANI, D.E. - Balanço Hídrico em Solo Cultivado com Cana-de-Açúcar - Utilização do Método da Moderação de Neutrons. Piracicaba. CENA, 35 p., 1972 (Boletim Científico).
- CASTRO, P.T. de - Evapotranspiração Anual e Potencial de uma Cultura de Milho (*Zea mays* L). Piracicaba. ESALQ/USP. 61 p. 1979 (Dissertação de Mestrado).
- CASTRO NETO, P.; SEDIYAMA, G.C.; FERREIRA, P.A. & VIEIRA, M. - Estimativa da Evapotranspiração Real Baseada na Evapotranspiração Potencial Estimada pela Equação de Penman e na Umidade do Solo. Cien. Prant. Lavras. 4(2):92-102. Jul/Dez. p. 92-101, 1980.
- CAMARGO, A.P. & CAMARGO, M.B.P. - Estimativa da Evapotranspiração Potencial Baseada na Radiação Solar Extraterrestre e Temperatura Média do Ar. Apresentado no III Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Campinas, 1983.
- COELHO; M.A. & OLIVEIRA, F.N.S. - Procedimento para Determinação de Curvas Características da Água do Solo com o Emprego de Tensiômetro. Convênio FINEP/FCPC - Estudo do Solo do Ceará. Fortaleza, 28 p., 1984.
- DENMEAD, O.T. & SHAW, R.H. - Availability of Soil Water to

- Plants as Affected by Soil Moisture Content and Meteorological Conditions. Agron. J., 54:385-390, 1962.
- DOSS, B.D.; BENNETT, O.L. & ASHLEY, D.A.- Evapotranspiration by Irrigated Corn. Agron. J.; 54:497-498, 1962.
- DOORENBOS, J. & PRUITT, W.O. - Crop Water Requirements. Revised, Roma. FAO. p. 144, 1975 (Irrigation and Drainage Paper, 24).
- FERRAZ, E.S.B. - Estudo da Evapotranspiração Real Através da Medida de Umidade do Solo por Moderação de Neutrons. Piracicaba. CENA 40 p., 1972 (Boletim Científico, nº 5).
- FRITSCHEN, L.J. & SHAW, R.H. - Evapotranspiration for Corn as Related to Pan Evaporation. Agron. J., 53:149-150., 1960.
- GRASSI, J. C. - Estimacion de los Usos Consuntivos de Agua y Requerimientos de Riego con Fines de Formulacion y Diseño de Proyectos. CIDIAT. Documento nº 53, 136p. 1968.
- GOLDBERG, S.D. - Técnicas y Métodos para Uso Eficiente del Agua en la Agricultura. Simpósio México-Brasil um Enfoque Integral de la Utilizacion del Agua. México, 1974.
- GUERRERO, P. - Modelamento do Fenômeno da Evapotranspiração. In. III SEMINÁRIO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM. Fortaleza. 1975. Anais, nº 3.
- HILLEL, D., KRENTOS, V.D. & STYLIANOV, Y. - Procedure and Test of an Internal Drainage Method for Measuring Soil

- Hydraulic Characteristic in Situ. Soil Sci. Amerc. Proc. 114:395-400, 1972.
- HARGREAVES, G.H. - Potential Evapotranspiration and Irrigation Requirements for Northeast Brazil. Salt Lake City, Utah State University/USAID, 55 p., 1974.
- ISRAELSEN, O.W. & HANSEN, V.E. - Princípios y Aplicaciones del Riego. Barcelona. 2ª Edição. 395 p., 1965.
- JENSEN, E.M. - Consumptive Use of Water and Irrigation Water Requirements. New York. 215 p., 1973.
- MARINATO, R. & LIMA, C.A. de S. - Irrigação do Algodoeiro. Informe Agropecuário, 8(92):75-81, ago. 1982.
- PRUITT, W.O.; LOURENCE; J.F. & OETTINGEN, S. VON. - Water Use by Crops Affected by Climate and Plant Factors. California Agriculture, 26(10):10-14, 1972.
- KAKIDA, J. & MARINATO, R. - Estudo do Período Crítico para Irrigação do Algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) no Norte de Minas. In: Reunião Nacional do Algodão, 2ª, Salvador, 1982. Resumos. Salvador, 1982. p. 125.
- REICHARDT, K. - Determinação da Condutividade Hidráulica em Condições de Campo para Estimativa de Drenagem Profunda em Balanço Hídricos. Piracicaba. CENA, 12 p., 1974 (Boletim Didático).
- REICHARDT, K. - Processos de Transferência no Sistema Solo-Planta-Atmosfera. São Paulo, Fundação Cargill, Piracicaba

ba. CENA. 286 p., 1975.

REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L. & SAUNDERS, L.C.U. - Dinâmica da Água em Solo Cultivado com Milho. Rev. Bras. de Cien. do Solo. 3:1-5, 1979.

ROSE, C.W. & STERN, W.R. - Determinations of Wethdrawal from Soil by Crop Roots as Function of Depth and Time. Rust. g. Soil. Research. p. 5-11, 1976.

SAUNDERS, L.C.U. - Métodos de Determinação e Variabilidade Espacial da Condutividade Hidráulica sob Condições de Campo. Piracicaba. ESALQ/USP. 71 p., 1978 (Dissertação de Doutorado).

SAUNDERS, L.C.U.; CASTRO, P.T. de.; BARBOSA, C.E. & MATIAS FILHO, J. - Dinâmica da Água no Solo com a Cultura do Feijão-de-Corda (*Vigna sinensis* (L) Savi), em Aluvião Eutrófico. Ciên. Agron. Fortaleza. 12(1/2):141-148, 1981.

SAUNDERS, L.C.U.; CASTRO, P.T. de.; BEZERRA, F.M.L. & PEREIRA, A.L.C. - Evapotranspiração Atual da Cultura do Feijão-de-Corda (*Vigna Sinensis* (L) Savi) na Microregião Homogênea de Quixeramobim. Apresentado no XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Fortaleza. 14 p., 1984.

SAUNDERS, L.C.U.; CASTRO, P.T. de.; MATIAS FILHO, J. & BEZERRA, F.M.L. - Uso Consuntivo da Cultura do Milho, sob Condições Naturais de Precipitação na Microregião Homogênea de Quixeramobim. Apresentado no XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Fortaleza. 1984.

- SAUNDERS, L.C.U. & BEZERRA, F.M.L. - Relatório do Programa de Desenvolvimento Científico e Tecnológico para o Nordeste. - PDCT/NE-01. Fev/Dez., 1984.
- SAUNDERS, L.C.U.; MOTA, F.O.B.; CASTRO, P.T. de.; & MATIAS FILHO, J. - Caracterização Morfológica, Física e Química de um Solo Aluvial na F.E.V.C. Ciênc. Agron. Fortaleza. 11(2):137-143, 1980
- SILVA, Z.R.; CAMPOS, J.L.D. & PEQUENO, H.C. - Uso de Fórmulas Empíricas na Estimativa da Evapotranspiração Potencial na Zona Litorânea do Estado do Ceará. Ciên. Agron., 3(1-2):45-48, Fortaleza, 1973.
- SILVA, Z.R.; CAMPOS, J.L.D. & PEQUENO, H.C. - Um Método Empírico para Estimativa da Evapotranspiração Potencial no Ceará. Ciên. Agron., 8(1-2):91-91, Fortaleza, 1978.
- SILVA, M.A. da & MILLAR, A.A. - Evapotranspiração do Feijão-de-Corda. Pesquisa em Irrigação no Trópico Semi-Árido. Solo, Água, Planta. EMBRAPA. Boletim de Pesquisa nº 4. 85 p., 1981.
- SILVA, M.J. da; HOLANDA, A.F. de; SAUNDERS, L.C.U. & CAVALCANTI, F.B. - Estudo de Período do Algodoeiro à Deficiência Hídrica. Apresentado no XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Fortaleza, 1984.
- SILVEIRA, P.M. & STONE, L.F. - Balanço de Água na Cultura do Feijão em Latossolo Vermelho-Amarelo. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, 14(2):111-115, 1979.

TANNER, C.B. - Evaporation of Water from Plants and Soil.
In. Kolowski, T.T., Ed. Water Deficits and Plant Growth.
New York, Academic Press. p. 74-106., 1968.

VAN BAVEL, C.H.M. & HARRIS. - Evapotranspiration Rates
from Bermudagrass and Corn at Raleigh, North Carolina.
Agron. J., 54:319-322., 1962.

A N E X O 0 1

TABELA 1 - Valores mensais dos elementos climáticos empregados nas fórmulas empíricas

Meses	t (°C)	P%	Fator f
Outubro	28,48	8,55	180,79
Novembro	28,96	8,35	178,39
Dezembro	29,10	8,66	185,57

Fonte: t(°C) = dados climáticos da Estação de Pentecoste - 1984

P(%) = BERNARDO, S - Manual de Irrigação - 1982