

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
PRÓ-REITORIA PARA ASSUNTOS DO INTERIOR
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

IRRIGAÇÃO POR CÁPSULA POROSA:
CARACTERÍSTICAS E AVALIAÇÃO
DO MÉTODO SOB PRESSÃO HIDROS
TÁTICA

POR

DINARTE AÉDA DA SILVA
(ENGENHEIRO CIVIL)

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA
SETEMBRO-1980



S586i Silva, Dinarte Aéda da.
Irrigação por cápsula porosa : características e avaliação do método sob pressão hidrostática / Dinarte Aéda da Silva. - Campina Grande, 1980.
67 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1980.
"Orientação : Prof. Dr. Hans Raj Gheyi".
Referências.

1. Método de Irrigação. 2. Cápsula Porosa - Pressão Hidrostática. 3. Cultivo de Milho - (Zea Mays L.) - Irrigação. 4. Dissertação - Ciências. I. Gheyi, Hans Raj. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título

CDU 626.84:633.15(043)

IRRIGAÇÃO POR CÂPSULA POROSA:
CARACTERÍSTICAS E AVALIAÇÃO DO MÉTODO
SOB PRESSÃO HIDROSTÁTICA

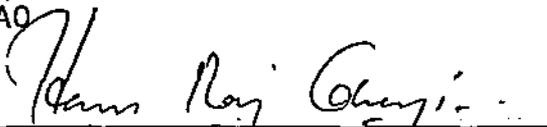
P O R :

DINARTE AÉDA DA SILVA

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

APROVADO POR :

COMISSÃO



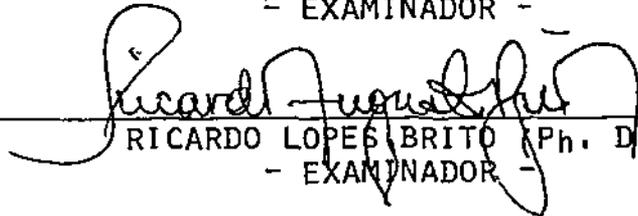
HANS RAJ GHEYI (Ph. D.)
- PRESIDENTE -



ADERALDO DE SOUZA SILVA (M. Sc.)
- EXAMINADOR -



FRANCISCO MONTE ALVERNE DE SALES SAMPAIO (M. Sc.)
- EXAMINADOR -



RICARDO LOPES BRITO (Ph. D.)
- EXAMINADOR -

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA - BRASIL
SETEMBRO-1980

Aos seus pais, irmãos e Ancila (noiva)

Dedica

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Hans Raj Gheyi pela dedicada e objetiva orientação para realização deste trabalho.

Ao Departamento Agropecuário da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, pela oportunidade concedida.

Ao Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA), na pessoa do seu Chefe, Dr. Renival Alves de Souza pelo apoio e contribuição financeira através do Convênio SUDENE/CNPq/BID / EMBRAPA para aquisição dos materiais utilizados.

À Cerâmica do Cariri S.A.-CECASA, na pessoa, do Dr. José Venilson de Araújo pela presteza com que forneceu os materiais argilosos empregados na confecção das cápsulas porosas, pela cozedura das cápsulas e por todos os esforços que dedicou para concretização deste trabalho.

Aos Pesquisadores da EMBRAPA/CPATSA, Aderaldo de Souza Silva e Arnóbio Anselmo de Magalhães, pelas ajudas e orientações nas diversas etapas deste empreendimento.

Ao Dr. Manoel Abílio de Queiroz, então Chefe Adjunto Técnico do CPATSA, pelo apoio e sugestões apresentadas.

Ao estatístico do CPATSA, Dr. Carlos Alberto de Vasconcelos

Oliveira pelos esclarecimentos e apoio na realização das análises estatísticas.

Aos funcionários do SID/CPATSA, especialmente as Sr.^{tas} Maria Cira Padilha da Luz e Maristela Ferreira Coelho, pelas dedicadas e incansáveis colaborações.

Aos funcionários do laboratório do CPATSA Sr^s Valdelício Antônio de Britó e Edson Alves da Silva, por suas ajudas nos trabalhos efetuados.

Aos funcionários do Campo Experimental de Bebedouro(CPATSA), Sr^s José Alvino, João Bosco Barbosa de Almeida e Nilton de Brito Cavalcanti (T. Agrícola), pelo acompanhamento dos trabalhos de campo.

Ao funcionário do CPATSA, Sr. José Cletis Bezerra pela ajuda na confecção dos desenhos.

A todos do CPATSA, pela amizade sincera

À Coordenação e professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Irrigação da Universidade Federal da Paraíba, pela contribuição científica.

Aos funcionários da Biblioteca do Centro de Ciências e Tecnologia da UFPb, Campus II, pela amizade e colaboração.

Aos professores do Colégio Agrícola de Jundiá, Macaíba-RN, pela sua formação de 1º e 2º Graus.

Aos seus pais, pelos esforços que despenderam para sua formação moral e educacional.

A sua noiva pela compreensão e ajuda na redação deste trabalho.

RESUMO

Os objetivos deste trabalho consistiram em testar a viabilidade do método de irrigação por cápsula porosa sob pressão hidrostática e em determinar os efeitos das diferentes pressões hidrostáticas e das populações de plantas por cápsula sobre a produção do milho (Zea mays L.), cultivar Centralmex.

Foram testadas diferentes proporções de barbotinas A e B para confecção das cápsulas porosas, sendo que a proporção 40%, 60%, foi escolhida, devido ao fato de ter apresentado melhores características técnicas no que diz respeito à liberação de água e resistência à compressão.

O experimento de campo foi desenvolvido no Campo Experimental de Bebedouro do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (EMBRAPA/CPATSA), Petrolina-PE.

O delineamento estatístico adotado foi o de blocos ao acaso, com parcelas sub-divididas em três tratamentos de pressões hidrostáticas, 0,35; 0,50 e 0,75m e cinco sub-tratamentos com densidades de plantas correspondentes a 1; 4; 7; 10 e 13 plantas por cápsula porosa, com três repetições contendo cada uma dez cápsulas poro

sas instaladas a 0,25m de profundidade e a 0% de declividade.

Observou-se que as diferentes pressões hidrostáticas influenciaram, significativamente, na liberação de água pelas cápsulas e que o consumo de água, durante o ciclo de cultivo, variou de 796 a 1.000 m³/ha para os diferentes tratamentos, indicando grande economia de água. Por outro lado, os tratamentos não influenciaram significativamente quanto às alturas finais das plantas e das inserções das espigas, assim como quanto a produção do milho. Mas houve diferenças significativas a nível de 1% de probabilidade entre os sub-tratamentos. Através da equação quadrática, a máxima produção foi estimada para a densidade de nove plantas. Dentre as populações estudadas, a densidade de sete plantas por cápsula porosa apresentou melhores resultados dando produção média, por cápsula, de 861g que convertida para uma população de 50.000 plantas por hectare, daria uma produção de 6.150 Kg/ha. A eficiência média do uso de água foi 1,9Kg/m³ que representa um valor muito alto, comparado aos métodos convencionais de irrigação.

O potencial matricial de água no solo (ψ_m) a 2cm das paredes das cápsulas, manteve-se acima de -0,1 atm (capacidade de campo) e a umidade aproveitável, variou de 60 a 100% para um diâmetro médio de 40cm, compreendendo a profundidade de 15 a 45cm, durante o ciclo do cultivo. Portanto, pelo exposto, pode-se constatar que o método de irrigação por cápsula porosa sob pressão hidrostática é, tecnicamente, viável em áreas com limitada disponibilidade de água.

ABSTRACT

The objectives of the present study were to evaluate the technical feasibility of the irrigation method by porous capsule and to determine the effects of different hydrostatic pressures and plant densities on production of corn (Zea mays L.) cultivar Centralmex using this method of irrigation.

Different proportions of barbotinas A and B (locally found clay), have been tested for the manufacture of porous capsule but the proportion of 40% and 60% was chosen, because capsule manufactured with this proportion presented the best technical characteristics with regard to discharge rate and firmness.

A field experiment was carried out at the Bebedouro Experiment Station of EMBRAPA/CPATSA, Petrolina-PE, with three hydrostatic pressure treatments (0.35 ; 0.50 and 0.75m) and five sub-treatments of plant populations (1,4,7,10 and 13 plants / capsule) in a randomized block design. The experiment consisted of three replicates of 10 capsules each, installed along the contour lines at a depth of 0.25m with absolutely no slope.

The different hydrostatic pressure heads significantly influenced the outflow of water from the capsule and total water con-

sumption for the corn was found to vary from 796 to 1.000 m³/ha, thereby indicating the extent of water savings. However, pressure head treatments did not affect significantly production and average heights of plant and fruit buds but the differences in various sub-treatments were found to be significant at 1% level of probability. A second degree quadratic equation described satisfactorily the yield curve and estimated that 9 plant per capsule would give the maximum yield. In the present study, density of 7 plants per capsule gave the best results with a total production of 861g, which converted to usual 50.000 plants/ha represents a yield of 6.150 kg/ha. The average water use efficiency for this method of irrigation has been found to be 1.9 kg/m³, which compared to conventional methods of irrigation is rather high.

The soil matric potential (ψ_m) at a distance of 2cm from the capsule wall and at 25cm depth was found to be above -0.1 atm(field capacity) and available water in 20cm radius around the capsule and 15-45cm depth always remained in between 60-100%, indicating thereby the technical feasibility of this method of irrigation in small areas with limited water supply.

Í N D I C E

	<u>PAG.</u>
CAPÍTULO I INTRODUÇÃO	01-03
CAPÍTULO II REVISÃO DE LITERATURA	04-12
1. Materiais Usados na Confecção de Cápsulas Porosas	04
2. Irrigação por Cápsulas Porosas	05
3. Distribuição do Conteúdo de Água no Solo	09
3.1. Determinação de Potenciais de Água no Solo Através de Tensiômetros	10
4. Produções e Eficiências do Uso de Água	11
CAPÍTULO III MATERIAIS E MÉTODOS	13-22
1. Localização do Experimento	13
2. Clima	13
3. Solo	14
4. Delineamento Experimental	14
5. Confecção de Cápsulas Porosas	15
6. Efeitos das Diferentes Proporções de Barbotinas A e B Sobre as Liberações de Água pelas Cápsulas Porosas	17
7. Confecção e Calibração dos Tensiômetros	17
8. Preparo do Solo e Montagem do Sistema	18
9. Adubação	20
10. Plantio	20
11. Tratos Culturais e Fitossanitários	20
12. Observação e Registro dos Dados	21
12.a. Dados Climáticos	21
12.b. Liberação de Água pelas Cápsulas	21

	<u>PÁG.</u>
12.c. Distribuição do Conteúdo de Água no Solo, no Tempo e Espaço	21
12.d. Potencial Matricial	21
12.e. Temperatura do Solo	22
13. Produção e seus Componentes	22
14. Análise dos Resultados	22
CAPÍTULO IV RESULTADOS E DISCUSSÃO	23-42
1. Materiais Usados na Confecção de Cápsulas Porosas	23
2. Liberação Diária de Água por Cápsula Porosa, Durante o Ciclo de Cultivo	25
3. Distribuição do Conteúdo de Água no Solo, no Tempo e Espaço	28
4. Produção e Eficiência do Uso de Água	35
4.1. Ciclo Fenológico da Cultura	35
4.2. Produção de Grãos	38
4.3. Eficiência do Uso de Água	40
CAPÍTULO V CONCLUSÕES	43-45
LITERATURA CITADA	46-50
APENDICE I	51-61
APENDICE II	62-67

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

No Brasil, a região denominada Polígono das Secas se encontra no nordeste, estando delimitada pelas latitudes 03° e 18° S e longitude 35° a 46° W, contando com uma área de 100 milhões de hectares, abrangendo parte dos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais, compreendendo 13% do território nacional e 75% da área do nordeste (EMBRAPA/CPATSA, 1977).

As regiões áridas e semi-áridas do nordeste, à semelhança de outras do mundo, apresentam grande potencialidade agrícola. No entanto, a escassez ou intermitência das chuvas, as limitações dos solos, o manejo inadequado dos recursos naturais, assim como a inibição do produtor nordestino para adotar novas tecnologias que assegurem uma produção estável e conseqüente fixação do homem no campo, durante os períodos de longas estiagens, constituem as principais restrições para um melhor aproveitamento das propriedades rurais.

Estudos desenvolvidos por REBOUÇAS & MARINHO (1972) repor

tam que, atualmente, 20 bilhões de metros cúbicos de água permanecem armazenados nos reservatórios do nordeste, enquanto que PONTES (1975) avalia as reservas de águas subterrâneas na ordem de quatro bilhões de metros cúbicos por ano, distribuídas, principalmente, nos estados do Piauí, Rio Grande do Norte, Bahia e norte de Minas. Assim sendo, no nordeste, os recursos hídricos disponíveis perfazem 24 bilhões de metros cúbicos/ano, sendo sua maior utilização restrita, principalmente, ao consumo humano e animal.

Diante destas potencialidades hídricas, como também à necessidade premente de soluções para a agricultura do nordeste, órgãos governamentais vêm dando especial ênfase ao desenvolvimento de projetos de irrigação, objetivando aumentar a capacidade produtiva e/ou expandir as fronteiras agrícolas. Porém, não obstante seja considerável a importância de tal programa, sua abrangência a nível de nordeste é ainda limitada e exige maior empenho, principalmente, no que diz respeito ao emprego de tecnologias adequadas, de manejo de solo e água, que permitam, sobretudo, o aumento da produção de alimentos em pequenas propriedades, nas condições de sequeiro.

Considerando as extensas áreas do nordeste que não contam com potencial de água suficiente para o desenvolvimento agrícola a través de irrigação convencional, justifica-se o estudo e adaptação de novos métodos que possibilitem uma utilização dos recursos físico-hídricos de forma mais racionada, com economicidade e eficiência no uso de água, tal como o método de irrigação por cápsula porosa, método este que teve seus estudos básicos desenvolvidos, inicialmente, por OLGUIN (1975), no México.

Outrossim, RENDON (1979) desenvolveu o modelo matemático que explica o funcionamento deste método de irrigação sob tenção ou sucção e identificou que a condutividade hidráulica da cápsula porosa diminuiu no decorrer do experimento, constituindo-se a principal desvantagem do método e que o levou a sugerir o uso de cápsulas mais porosas trabalhando sob diferentes gradientes de sucção e pressão.

SILVA et alii (1978a) na EMBRAPA/CPATSA, Petrolina, PE, durante a condução de trabalhos de campo, usando o método por sucção na cultura do melão, encontraram dificuldades para identificar os pontos de entrada de ar quando ocorria vazamento no sistema. Constataram, também, que um maior número de vazamento ocorria quando se

aumentava o comprimento das linhas de irrigação.

MAHDAVI (1977), no Irã, faz referência ao emprego de jarros de argila, submetidos a baixas pressões hidrostáticas, como, um método de irrigação viável para regiões áridas e semi-áridas.

O presente experimento compôs-se de um sistema de cápsulas porosas, confeccionadas de materiais argilosos, interconectadas por tubulações de polietileno ou mangueira plástica e ligadas a uma fonte de abastecimento (reservatório), e através dele foram desenvolvidos estudos sobre o método de irrigação por cápsula porosa sob diferentes pressões hidrostáticas, tendo em vista sua aplicação em escala operacional, uma vez que este método, por sucção, apresentava limitações neste sentido.

Os principais objetivos deste trabalho consistiram em testar a viabilidade do método de irrigação por cápsula porosa sob pressão hidrostática e em determinar os efeitos das diferentes pressões hidrostáticas e das populações de plantas por cápsula sobre a produção do milho (Zea mays L.), cultivar Centralmex.

CAPÍTULO II

REVISÃO DE LITERATURA

1. Materiais Usados na Confeccção de Cápsulas Porosas

No México, OLGUIN (1975) utilizou argila não expansível, para confeccionar cápsulas porosas, objetivando utilizá-las como principal componente do método de irrigação por sucção, por esse propósito. As cápsulas tinham forma de tronco de cone, com quatro orifícios, sendo opostos dois a dois e próximos às bases superior e inferior, respectivamente. A capacidade volumétrica de cada cápsula era, aproximadamente, de 300ml e a condutividade hidráulica média de 0,004 cm/h.

Trabalho semelhante foi realizado por GARCIA (1977) e SANTOS (1977) usando cápsulas porosas também em forma de tronco de cone, confeccionadas, principalmente, de argila não expansível, do tipo haloisita. Suas capacidades médias eram de 626 ml e apresentavam as seguintes dimensões: o diâmetro da base maior 12 cm, o da base menor 4 cm, a espessura de 0,6 cm e 14 cm de altura. A cápsula porosa contava com quatro perfurações de 1 cm de diâmetro, correspondendo a duas inferiores, para o abastecimento de água e as superiores para

saída das bolhas de ar existentes. O material para sua fabricação continha 4% de areia, 40% de limo e 56% de argila, misturado com água a um ponto de saturação de 160% e depois peneirado sucessivamente em malhas de 0,6 e 0,25 mm. Com a massa tamizada, procedeu-se a confecção das cápsulas propriamente ditas, através do processo de colagem por moldagem, utilizando-se moldes de gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), por tempo aproximado de 40 a 45 minutos. Estas apresentaram condutividades hidráulicas médias de 0,008 cm/h.

SILVA et alii (1978b) confeccionaram cápsulas porosas de formato semelhante às fabricadas por SANTOS (1977) e, segundo sua metodologia, utilizaram vários tipos de materiais argilosos, sendo os melhores resultados obtidos com a argila Nova Olinda, oriunda de Nova Olinda-CE, que apresentava a composição granulométrica de 1% de areia, 58% de limo e 41% de argila.

A condutividade hidráulica das cápsulas obtidas variou de 0,001 a 0,0003 cm/h, dependendo da temperatura de queima a que foram submetidas.

RENDON (1979) também confeccionou cápsulas porosas, de forma cilíndrica, com 6,5 cm de diâmetro externo, 26 cm de altura e 0,5 cm de espessura. A condutividade hidráulica dos tubos porosos, sob baixos potenciais de pressão, foram em média de 0,0057 cm/h. Mas, após o experimento de campo, foi verificado uma grande diminuição na condutividade hidráulica dos mesmos.

2. Irrigação por Cápsulas Porosas

WILSON (1929), em estudos visando manter constante o nível de umidade do solo, utilizou vasos de argila, conectados entre si hermeticamente, no sentido de criar um espaço entre ambos, onde ficava contida a água. A parede externa era impermeável, enquanto que a interna permeável, para permitir a absorção da água pela planta. Os vasos tinham conformação cônica, para favorecer o contato do solo com as paredes internas dos mesmos. Constatou que a manutenção da quantidade máxima de água no solo depende da porosidade da superfície interna do vaso, associada à altura da sucção, a qual consiste na distância vertical que vai do nível da água do reservatório de abastecimento ao nível da água do auto-irrigador.

RICHARDS & BLOOD (1934), trabalhando simultaneamente com auto-irrigadores e irrigação superficial em batata, milho e melão, durante dois anos, chegaram à conclusão de que o uso de auto-regadores apresentou vantagens econômicas tanto com relação à produtividade das culturas, quanto à água utilizada, que foi seis vezes e meio menor.

RICHARDS & LOOMIS (1942), usando auto-irrigadores idênticos aos utilizados por WILSON (1929), constataram que as plantas necessitavam de mais água do que a proporcionada pelos auto-irrigadores e que isto se devia ao fato do umedecimento do solo ser insuficiente para acompanhar a demanda evapotranspirativa da cultura, comprovando assim que existe um limite de tensão capaz de auto-regular a umidade do solo.

READ et alii (1962), experimentaram, em casa de vegetação, cilindros com poros de 1,4 microns, 15,2 cm de comprimento e 3,5 cm de diâmetro, instalados dentro de vasos com solo argiloso e conectados a uma fonte de abastecimento, com o objetivo de manter constante o potencial de água no solo.

O controle das pequenas tensões era realizado através da regulagem da diferença de nível existente entre a superfície livre da água no reservatório de abastecimento e o centro do cilindro, enquanto que, para tensões mais elevadas, o controle se fazia através de vácuo no reservatório de armazenamento.

O sistema de irrigação subterrânea, por tubos porosos, segundo Stauch, citado por DEMATTÊ (1973), era utilizado, desde a antiguidade, pelos romanos, porém a desvantagem relativa à desuniformidade na distribuição de água ao longo do tubo, limitava seu uso. Por outro lado, o autor diz ter resolvido, em parte, os problemas do método e descreve o processo para fabricação de tubos porosos com areia e cimento.

O método de irrigação por sucção, que constitui-se de uma série de cápsulas porosas, de argila pura ou misturada, conectadas por tubulações e ligadas a uma fonte de abastecimento, teve seus primeiros estudos, em condições de campo, realizados por OLGUIN (1975), no México. O autor trabalhou com as cápsulas porosas que apresentavam

a maior condutividade hidráulica possível, utilizando a cultura do feijão, durante 70 dias, sendo a água auto-regulada pelas plantas, o que propiciava elevada eficiência no seu uso.

Posteriormente, OLGUIN et alii(1976) testaram o método de irrigação por sucção com a cultura do milho e os resultados comprovaram que o sistema de irrigação foi capaz de suprir as necessidades hídricas da cultura. Observaram também que o consumo de água apresentava tendências de acompanhar as variações da evaporação do tanque classe A. E, segundo os autores, a quantidade de água utilizada, neste método, foi muito menor do que a quantidade consumida noutros métodos de irrigação, inclusive no gotejamento.

SANTOS (1977) utilizou um lisímetro de pesagem para determinar os consumos de água ao longo do ciclo vegetativo do trigo, comparando-os com a água consumida no método de irrigação por sucção. Observou que a distribuição da umidade afetou o desenvolvimento radicular e vegetativo da cultura, para quase todos os tratamentos com exceção de um deles, o qual, comparado ao lisímetro, apresentou um coeficiente de correlação(r) igual a 0,85.

GARCIA (1977), estudando, em fruteiras, o efeito da irrigação por sucção sobre as potencialidades do rendimento do morango, concluiu que uma maior densidade de plantas apresenta melhor rendimento e que o método de irrigação utilizado atendeu às necessidades hídricas da cultura, com um volume de água oito vezes menor que o usado a nível comercial, pelos métodos superficiais de irrigação.

De acordo com FERNANDES (1978), cápsulas porosas confeccionadas com areia ou quartzo de textura muito fina, prestam-se para irrigar, por sucção, solos sílticos ou argilosos, em vasos. Segundo o autor, o conteúdo de água no solo é função da porosidade da cápsula, do seu contacto com o solo e da altura da coluna d'água existente entre a superfície interna do fundo do vaso e a superfície no depósito de água a nível constante.

MORALES (1978), trabalhando com culturas de trigo, tomate e feijão, utilizou águas salinas, comparou os efeitos destas, quando aplicadas pelo método de irrigação por sucção, com o de irrigação superficial e comprovou que o método de irrigação por sucção pode ser aplicado para irrigar culturas sensíveis à águas salinas, obtendo mai

ores rendimentos, quanto à matéria seca, área foliar, altura de plantas e consumo de água, que os obtidos pelo método superficial de irrigação. Demonstrou ainda que a concentração de sais no solo é menor quando se usa a irrigação por sucção, do que aplicada pelo método superficial de irrigação.

No Brasil, SILVA et alii (1978b), em trabalho iniciais com o método de irrigação por sucção, testaram materiais argilosos de diferentes localidades do nordeste, visando encontrar argilas com características, quanto à porosidade das cápsulas, semelhantes as que se tem trabalhado no México.

Posteriormente, trabalhando com a cultura do melão e utilizando cápsulas porosas, com capacidade para 600 ml de água, SILVA et alii (1978a) comprovaram a economicidade do sistema quanto ao suprimento hídrico da cultura no qual o melão desenvolveu-se satisfatoriamente. A água consumida pela cultura seguia as tendências da evaporação dadas pelo tanque classe A. O coeficiente da correlação entre os dados de consumo de água, pela cultura, com a evaporação do tanque classe A, foi igual a 0,905.

RENDON (1979) desenvolveu o modelo matemático que representa o funcionamento do método de irrigação por tensão negativa ou positiva o qual permite calcular a quantidade de água que passa pelas paredes da cápsula, como também, o comportamento da condutividade hidráulica da cápsula (K_c) quando se mantém constante o potencial dentro desta (ψ_c) e se faz variar o potencial fora da mesma (ψ_o). Para medir o potencial de água no solo foram colocados tensiômetros a 3; 9 e 13 cm da cápsula, os quais apresentavam as seguintes variações: a 3 cm de distância da cápsula, o potencial variou de 0,05 a 0,14 atm durante o ciclo do cultivo, enquanto que para 9 e 13 cm não foi possível mensurar as tensões de água no solo durante todo o período estudado.

No Irã, MAHDAVI (1977) fez referência ao método de irrigação através de jarros de argila, submetidos a baixas pressões hidrostáticas, o qual apresentou resultados promissores, especialmente, quando se utilizou águas salinas para irrigação.

3. Distribuição do Conteúdo de Água no Solo

HILLEL (1971) afirma que a energia potencial de água no solo varia no espaço e no tempo e que a água do solo tende ao equilíbrio movendo-se, continuamente, dos pontos de maior para os de menor energia potencial.

Após a infiltração da água no solo, tem início o processo denominado drenagem interna ou redistribuição da água. Parte dessa água se move para as camadas inferiores, sob a influência da gravidade e gradientes de sucção (REICHARDT, 1975). Segundo o autor, este processo é contínuo, porém tende a diminuir ou até estabilizar-se, a menos que haja perdas de água por evaporação ou que a água seja absorvida pelas plantas.

De acordo com HILLEL (1971), quando o conteúdo de água no solo for igual ou inferior a sua capacidade de retenção, não haverá perdas de água por percolação profunda.

O processo da distribuição do conteúdo de água no solo é importante para um melhor manejo dos cultivos, BAVER et alii (1972) e KRAMER (1975). Por outro lado, SINGH et alii (1978) afirmam que as culturas anuais não são afetadas em seus rendimentos, quando a suplementação da umidade aproveitável é superior a 60%.

JACKSON et alii (1973) analisaram a natureza do fluxo de água no solo após a irrigação e concluíram que o fluxo de água na camada superficial é dominante logo após a irrigação e daí por diante nas camadas que mais sucessivamente se aprofundam.

Segundo CATÃO (1975), o processo de redistribuição do conteúdo de água no perfil do solo depende, em grande parte, da quantidade de água aplicada para que a frente de umedecimento alcance o solo úmido das camadas mais profundas do terreno.

A estimativa da distribuição do conteúdo de água no solo, depois e/ou durante o processo de infiltração, é de suma importância para solos sob irrigação, por permitir que se determine o incremento do potencial de água no solo, no tempo e espaço (SILVA, 1977).

Para determinado solo, a velocidade da redistribuição da umidade depende da superfície molhada pela infiltração, do teor de umidade das camadas mais inferiores e da condutividade hidráulica do

solo (REICHARDT, 1975). Segundo o autor para o fluxo não saturado, as componentes de maior importância para o potencial total de água no solo, são a matricial (ψ_m) e a gravitacional (ψ_g). Se as camadas mais profundas do solo estiverem secas, então o processo de redistribuição de umidade é rápido e a componente de maior importância é a matricial (ψ_m), caso contrário, predomina a componente gravitacional (ψ_g).

3.1. Determinação de Potenciais de Água no Solo Através de Tensiômetros

Segundo REICHARDT (1978) e SIMÃO (1980), tensiômetros são instrumentos constituídos de uma cápsula de cerâmica que se liga a um manômetro, através de um tubo plástico, sendo utilizados para se determinar o potencial de pressão ou potencial matricial (ψ_m) de água no solo. Os mesmos apresentam aplicação eficiente para se medir tensões de até 0,8 atmosferas e precisão de leitura que depende da igualdade da temperatura e do equilíbrio de umidade destes com o solo (HILLEL, 1971; DONEEN, 1977 e GUROVICH, 1979).

Haise & Kelley, citados por RENDON (1979), desenvolvendo trabalho com a finalidade de determinar as causas das variações diurnas dos tensiômetros, observaram que o gradiente de temperatura entre o solo e a cápsula é o fator responsável pelas flutuações dos tensiômetros. Comprovaram, ainda, que o gradiente decorrente das mudanças de temperatura, causa uma vaporização e uma condensação da água que entra e sai através de suas cápsulas, provocando as variações das leituras dos tensiômetros.

A determinação do potencial matricial (ψ_m) segue procedimentos descritos por REICHARDT (1978), onde esta componente (ψ_m) é medida em energia por unidade de volume.

O potencial de pressão ou matricial de água no solo, é dado pela equação seguinte:

$$\psi_m = - (13,6 h - h - h_1 - h_2) \text{ cm H}_2\text{O} \quad (1)$$

$$\psi_m = (-12,6 h + h_1 + h_2) \text{ cm H}_2\text{O} \quad (2)$$

onde:

ψ_m é a tensão de água no solo, expressada em cm de coluna d'água;

13,6 é a densidade do mercúrio;

h é a coluna de mercúrio em cm;

h_1 corresponde à altura que vai da superfície do mercúrio da cuba até à superfície do solo;

h_2 representa a altura que vai da superfície do solo até o nível do centróide da cápsula do tensiômetro.

O potencial de água no solo (ψ_m), expressado em centímetros de coluna de água, pode ser dado em atm, através da fórmula:

$$\psi_m(\text{atm}) = \frac{\psi_m(\text{cm})}{1.033} \quad (3)$$

4. Produções e Eficiências do Uso de Água

MORAIS (1972), em Petrolândia-PE, obteve produções de milho (sementes selecionadas) cultivar Azteca, irrigado por aspersão, correspondentes a 2.283,75; 2.118,84 e 1.935,46 Kg/ha, para os anos de 1969, 1970 e 1971, respectivamente.

Em estudos desenvolvidos no projeto Moxotó-PE (BRASIL, DNOCS, 1972), objetivando produzir milho, em condições irrigadas, foram alcançados os melhores resultados para as cultivares SLP e Porto Rico, correspondentes a 1.993±145 e 1.959 Kg/ha, respectivamente.

QUEIROZ et alii (1974), em Petrolândia-PE, visando selecionar sementes de variadas cultivares de milho, irrigado por aspersão, em diferentes épocas de plantio, obtiveram produtividades máximas para a cultivar Centralmex. A época de plantio que apresentou melhor resultado foi o mês de abril, correspondente a 5.300 Kg/ha e a menor produção, de 3.100 Kg/ha, ocorreu no mês de setembro.

Na região do submédio São Francisco, QUEIROZ et alii (1977) exploraram diversas cultivares de milho irrigado por sulcos e, dentre as mesmas, a cultivar Centralmex produziu, em espiga, 4.800 e 7.800 Kg/ha para os anos de 1974 e 1975, respectivamente.

SILVA et alii (1977), no Campo Experimental de Mandacaru, Juazeiro-Ba, conseguiram produção de 3.150 Kg/ha de milho, cultivar Piranão, irrigado por sulcos, rendimento este que correspondeu à interação, considerada ótima pelos autores, equivalentes a 50% de água disponível com 300 Kg de N/ha.

OLGUIN et alii (1976) compararam a produção de grãos de milho irrigado por sucção com a por gotejamento e obtiveram resultados equivalentes a 6.641 e 6.491 Kg/ha. Sendo suas eficiências do uso de água, de 2,7 e 1,4 Kg/m³, respectivamente.

A eficiência do uso de água (E_{ua}), definida em função da produção do cultivo (P_r) pelo volume de água usado (V), é dada pela fórmula a seguir:

$$E_{ua} = \frac{P_r \text{ (Kg)}}{V \text{ (m}^3\text{)}} \quad (4)$$

LIRA & TORRES (1977) produziram milho irrigado por sulcos abertos, equivalentes a 5.500 Kg/ha e sua E_{ua} foi de 1,0 Kg/m³ para a cultivar H-499.

SILVA & MAGALHÃES (1978), estudando o efeito das irrigações mínimas em milho irrigado por sulcos fechados, conseguiram, para uma população de 50.000 plantas por hectare, produções de até 4.200 Kg/ha e E_{ua} correspondente a 0,7 Kg/m³.

SILVA et alii (1978) estudaram os efeitos de diferentes níveis de nitrogênio e diferentes lâminas de água aplicada por aspersão na cultura do milho e a maior produtividade obtida foi de 5.968 Kg/ha, com E_{ua} igual a 0,484 Kg/m³. A maior E_{ua} foi de 0,865 Kg/m³, com produção de 4.854 Kg/ha.

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

1. Localização do Experimento

O presente trabalho foi desenvolvido no Campo Experimental de Bebedouro do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (CPATSA/EMBRAPA), em Petrolina-PE, que fica distanciado a 45 Km da sede do município, a $09^{\circ}09'$ de latitude S, $40^{\circ}22'$ de longitude W de Greenwich e a uma altitude de 365,5 m, no período de 06/09/79 a 19/01/80.

2. Clima

De acordo com HARGREAVES (1974), a temperatura média anual da região oscila entre 23 e 28°C e conforme Koppen, citado pela FAO (1967), o clima é classificado como do tipo BSh'W. A precipitação média anual é da ordem de 400 mm, concentrando-se nos meses de dezembro a abril. A umidade relativa média anual é de 67,8% (FAO/PNUD, 1971), sendo todavia comum, registro de valores diários de até 35%,

durante o período seco.

3. Solo

Segundo PEREIRA & SOUZA (1968), o solo da área experimental é da série dos Latossolos, unidade 37AB, sendo profundo, de cor amarelo avermelhada, superfície arenosa com limite claro para sub-solo e de textura barro argilo arenosa ou argilo arenosa. Possui uma estrutura fraca e em blocos sub-angulares. Apresenta mosqueado proeminente de cor avermelhada abaixo dos 50 cm, mudando para amarelo avermelhado e acinzentado. Dentro dos primeiros 150 cm de profundidade, não apresenta consistência endurecida.

Suas características físico-hídricas; dadas por AZEVEDO (1975) e CHOUDHURY & MILLAR (1979), são mostradas no Apêndice I, Tabela 1 e Figura 1, respectivamente.

4. Delineamento Experimental

O delineamento estatístico adotado foi o de blocos ao acaso, com parcelas sub-divididas em três tratamentos e cinco sub-tratamentos, todos igualmente espaçados, correspondendo cada um a dez cápsulas porosas com três repetições. Estas foram distribuídas no sistema conforme demonstra a Figura 1.

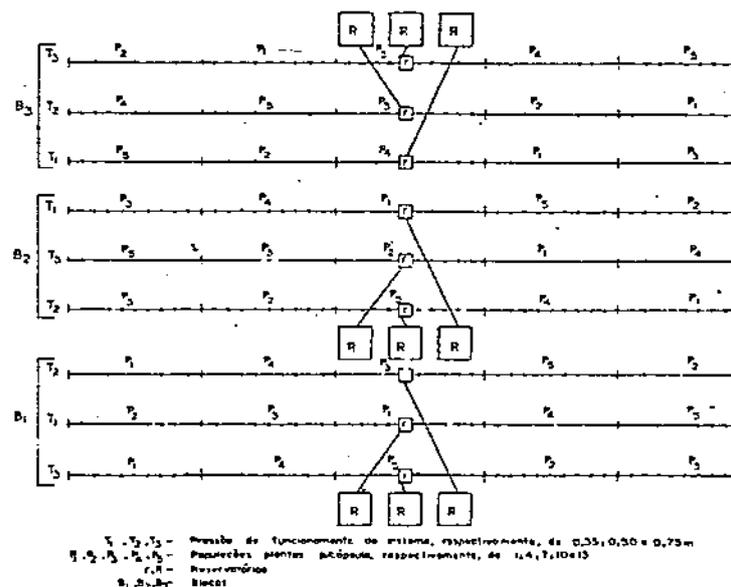


Fig. 1—Croqui do delineamento experimental.

Os tratamentos (T) consistiram de três diferentes pressões hidrostáticas de funcionamento do sistema, e os sub-tratamentos (P) de cinco densidades de plantas por cápsula porosa, tais como são da das a seguir:

Pressões Hidrostáticas (ΔH):

$$\begin{aligned} T_1 &= 0,35 \text{ m} \\ T_2 &= 0,50 \text{ m} \\ T_3 &= 0,75 \text{ m} \end{aligned}$$

Densidade de plantas/cápsula (P):

$$\begin{aligned} P_1 &= 1 \\ P_2 &= 4 \\ P_3 &= 7 \\ P_4 &= 10 \\ P_5 &= 13 \end{aligned}$$

5. Confeccção de Cápsulas Porosas

A cápsula porosa constitui-se de uma peça oca, em forma de cone, com dois orifícios, estes em forma de bico conector, situados na parte superior; paredes de 0,5 a 0,6 cm de espessura e com capacidade aproximada para 700 ml de água. Sua fabricação constou da mistura de materiais argilosos, oriundos da região do Cariri cearense, com postas, principalmente, de xistos argilosos, tipo shale, conhecidos como taguã, e, em menores quantidades, de carbonato de cálcio natural, xisto talco e a chamota originária do taguã calcinado, cujas proporções químicas foram dadas por ARAÚJO (1979). Na Tabela 2 do Apêndice I, encontra-se a composição química média dos materiais utilizados na confecção das cápsulas porosas.

A mistura em estado líquido, formada pela calcita, xisto talco e chamota, com água, que deixa resíduos de 4 a 5% em 200 mesh, foi denominada barbotina A. O taguã, minerado pela Cerâmica do Cariri S.A.-CECASA, depois de uma secagem natural, foi reduzido em moinhos de rolos do tipo Low Side, sem deixar restos em malhas de 50 mesh,

padrão Taylor. Com esta massa, misturada com água num agitador de pás rotativas e, posteriormente, passada em malhas de 100 mesh, obteve-se a barbotina B.

Para confecção das cápsulas, as barbotinas A e B, depois de acertadas as respectivas densidades ($1,33 \text{ g/cm}^3$), foram misturadas em proporções correspondentes à composição final desejada e homogeneizadas em agitadores apropriados. Em seguida, derramou-se, em moldes previamente fabricados em gesso tipo "Plaster of Paris" e constituídos por duas matrizes que se encaixam, semelhantes às utilizadas por SILVA et alii (1978b), conforme mostra a Figura 2 (A e B).

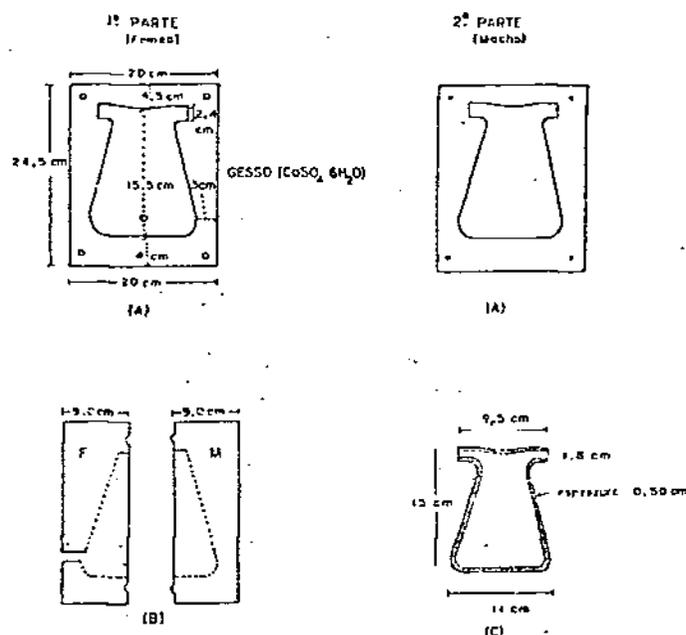


Fig. 2 (A) Molde de gesso utilizado na fabricação das Cápsulas porosas; (B) Corte longitudinal no molde de gesso; (C) Cápsula porosa na forma final após secagem

Os moldes foram preenchidos ininterruptamente por quatro minutos, tempo necessário para formar uma camada sólida em contato com o gesso. Em seguida, procedia-se o derramamento do excedente líquido do interior do molde e, após quatro minutos ou mais, realizou-se a abertura dos moldes, para a retirada das unidades moldadas. Para tanto, utilizou-se a metodologia sugerida por SANTOS (1977).

A pré-secagem do material se fez à sombra, com pouca ventilação e à temperatura ambiente. O excesso de água das cápsulas foi eliminado através de um secador túnel, de curva fixa, com ciclos de 32 horas e à temperatura máxima de 145°C .

A cozedura das unidades, realizada pela CECASA, foi feita em forno túnel contínuo de 118 m de comprimento, ciclo de 32 horas e à temperatura máxima de 1120°C . A cápsula em sua forma definitiva a apresentou-se conforme a Figura 2 (C).

Ao final do processo de confecção, a cápsula apresentava, de acordo com testes realizados pela CECASA, uma resistência mecânica à compressão de 5 Kg/cm^2 e uma porosidade de 20 a 22%.

6. Efeitos das Diferentes Proporções de Barbotinas A e B sobre as Liberações de Água pelas Cápsulas Porosas

Para definir qual a melhor proporção dos materiais empregados na confecção das cápsulas porosas, usou-se cinco diferentes percentagens de barbotinas A e B, respectivamente de: 20-80, 30-70, 35-65, 40-60 e 50-50.

Após confeccionadas, as cápsulas foram testadas, em ambiente saturado com água, para se verificar suas vazões devido às pressões hidrostáticas. Em etapa seguinte, determinou-se suas condutividades hidráulicas, segundo a metodologia proposta por SILVA et alii (1978b).

7. Confecção e Calibração dos Tensiômetros

Os tensiômetros compunham-se de pequenas cápsulas porosas, de forma cilíndrica, com paredes de 0,2 cm de espessura, comprimento de 7,5 cm e diâmetro de 2,0cm ; cada uma fixada diretamente a um tubo de PVC de 1,27 cm de diâmetro, fechado em sua extremidade superior por uma rolha de borracha. A este tubo conectou-se uma mangueira plástica transparente de 0,3 cm de diâmetro interno, ligando-o diretamente a uma cuba de mercúrio, tal como se apresenta na figura 3.

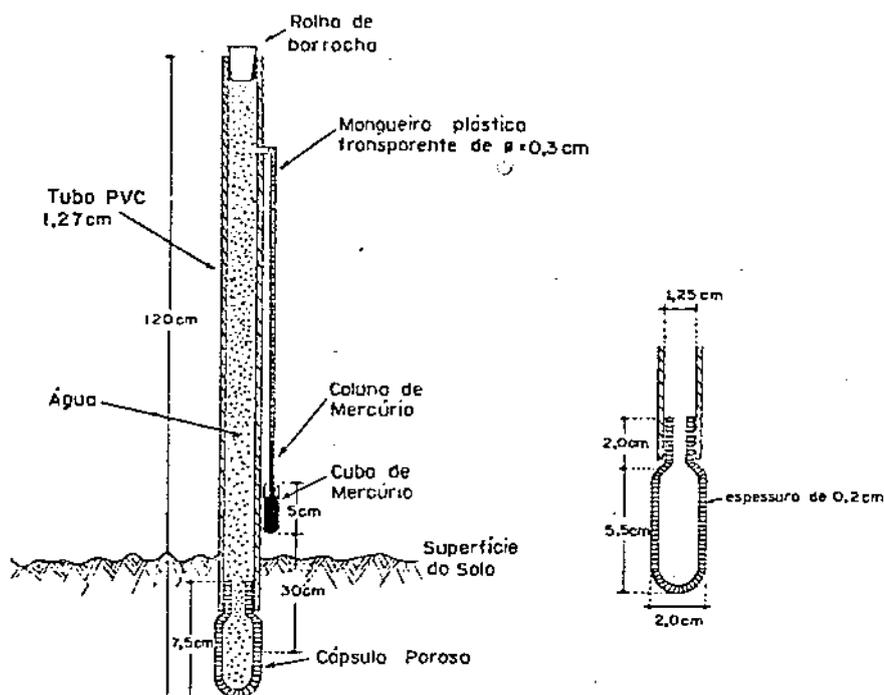


Fig. 3 Tensiômetro usado na determinação do potencial matricial no solo

As cápsulas dos tensiômetros foram confeccionadas utilizando-se o mesmo material e tecnologia empregada na fabricação das unidades porosas de irrigação, conforme proposição de RENDON (1979).

A calibração dos tensiômetros constou da retirada da porção do solo que envolvia suas cápsulas, num raio de 2 cm, quando estes mostravam diferentes colunas de mercúrio. As amostras coletadas foram postas para secagem em estufas a 110°C durante 24 horas, para se determinar suas umidades. Em seguida, procedeu-se a correlação entre as leituras das colunas de mercúrio do tensiômetro, com as suas correspondentes umidades do solo. Seus resultados estão apresentados na Figura 2 do Apêndice I.

8. Preparo do Solo e Montagem do Sistema

O preparo do solo constou de aração e gradagem, seguido de um levantamento planialtimétrico da área experimental e locação de curvas de nível básicas, na área correspondente a cada bloco.

Seguindo-se as linhas de nível, foram abertos, ao todo, no

ve sulcos equidistantes de 2 m, com 100 m de comprimento e profundidade de 0,25 m.

Nestes sulcos, foram colocadas as linhas de irrigação, com pondo-se cada uma delas de 50 cápsulas porosas, conectadas entre si de 2 em 2 m, através de mangueira plástica transparente, de 0,94 cm de diâmetro interno. Cada linha, independentemente, ligava-se a um reservatório de água (r) de nível constante desejado, que por sua vez mantinha-se em comunicação direta com o reservatório (R) de abastecimento (Figuras 4 e 5). Os reservatórios (r e R) utilizados compunham-se de caixas de cimento amianto, cobertas, com capacidade para 50 e 250 litros de água, respectivamente.

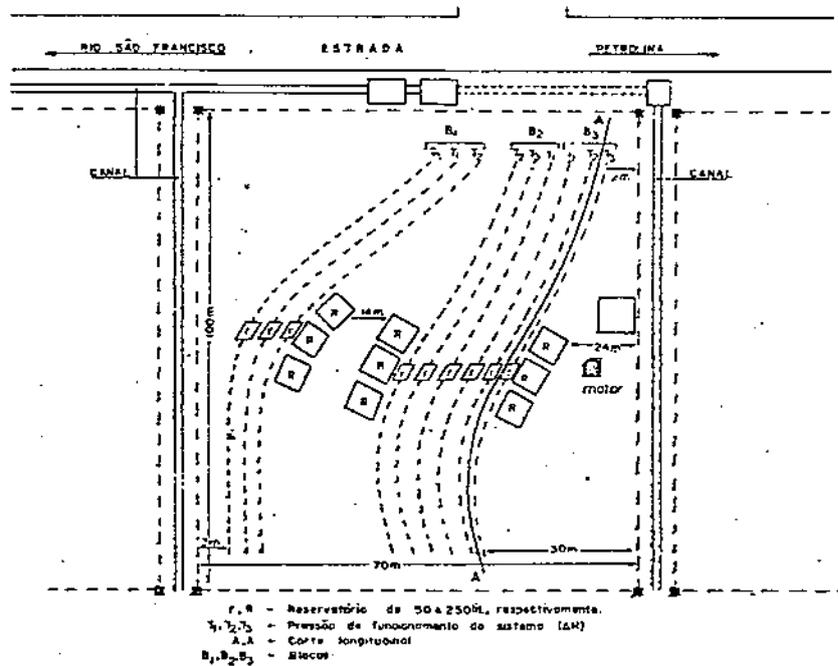


Fig. 4 Croqui de localização do experimento no campo.

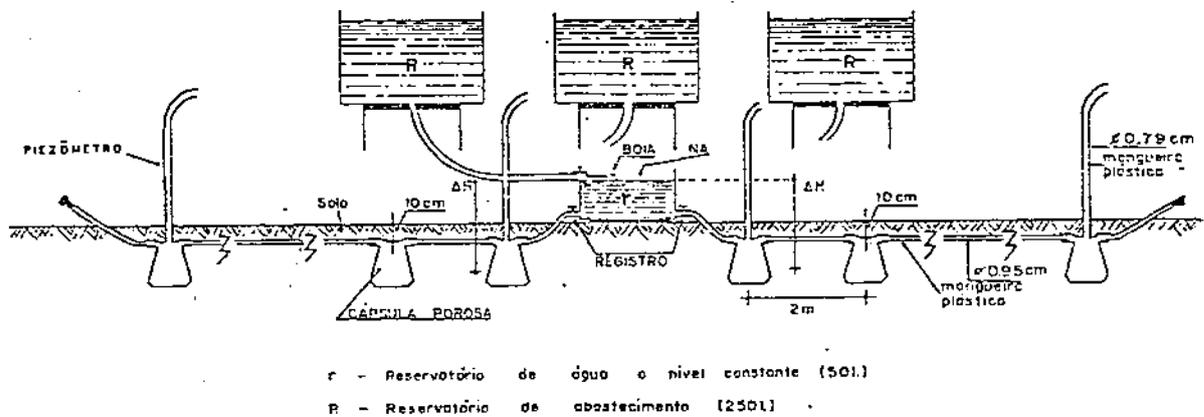


Fig. 5 Corte longitudinal A-A

As cápsulas foram instaladas nos sulcos a 0% de declividade, de forma que, depois do enterrio, suas partes superiores ficaram a 10 cm da superfície do solo.

9. Adubação

Empregou-se a fórmula 50-60-20, utilizando-se como fontes de N-P-K, o sulfato de amônio, o superfosfato simples e o cloreto de potássio, respectivamente. Em fundação, foi aplicada 1/3 do nitrogênio e a quantidade total de fósforo e potássio. Os 2/3 restantes de N foram aplicados em cobertura, aos 25 e 45 dias após a germinação. A distribuição dos fertilizantes foi feita, uniformemente, num raio de 15 cm do eixo vertical de cada cápsula e a uma profundidade de 4 cm. Considerou-se a área de exploração pelas plantas, em torno de cada cápsula, como sendo 1 m², então os fertilizantes foram quantificados para uma área total equivalente a 450 m² ou seja, 1/4 da área útil do experimento.

10. Plantio

O plantio do milho (Zea mays L.), cultivar Centralmex, foi realizado, manualmente, no dia 06.09.79, sendo as sementes distribuídas em número de três por cova, num raio de 20 cm e, igualmente, espaçadas em torno de cada cápsula porosa. O desbaste foi executado aos 15 dias após o plantio, deixando-se por cápsula o número de plantas especificado para cada sub-tratamento (P).

11. Tratos Culturais e Fitossanitários

Durante o ciclo da cultura, foram efetuadas duas capinas e uma amontoa, sendo os tratos fitossanitários somente executados por ocasião da ocorrência de pragas. Os defensivos usados foram Carbaryl, Paration Metílico e Monocrotofos.

12. Observação e Registro dos Dados

a) Dados Climáticos

A observação dos parâmetros climáticos, tais como precipitação, temperatura do ar, umidade relativa do ar e evaporação do tanque classe A, foi feita no posto meteorológico do Campo Experimental de Bebedouro, às nove horas, durante 83 dias, de 06.09.79 a 27.11.79. Os referidos dados encontram-se na Tabela 3, do Apêndice I.

b) Liberação de Água pelas Cápsulas

A água liberada pelas cápsulas foi medida duas vezes ao dia, às 9 e 15 horas, diretamente nos reservatórios R de cada uma das linhas de irrigação dos tratamentos (T) correspondentes, de 15.09.79 até 27.11.79. Na Tabela 4 do Apêndice I, são apresentadas as liberações médias diárias de água pelas cápsulas, por tratamento, bem como suas liberações médias mensais.

c) Distribuição do Conteúdo de Água no Solo no Tempo e Espaço.

A distribuição da umidade no solo ao redor das cápsulas porosas, formando uma espécie de 'bulbos molhados' foi determinada, com repetição, através de amostragens do solo, nas profundidades de 0-15; 15-30; 30-45; e 45-60 cm a cada ponto, equidistantes do eixo vertical das cápsulas, de 10, 20, 30 e 40 cm.

As amostras do solo foram coletadas nos sub-tratamentos P_1 , P_3 e P_5 do bloco três, aos 21, 42 e 83 dias após o plantio. Os resultados obtidos estão apresentados nas Tabelas 5 (A, B e C) do Apêndice I.

d) Potencial Matricial

As determinações do potencial mátrico foram efetuadas por meio de tensiômetros instalados nos três sub-tratamentos P_1 , P_3 e

P₅, do bloco três a 2 cm da parede das cápsulas e a 25 cm de profundidade.

As leituras foram feitas, diariamente, às 9 horas, e a partir dos 27 aos 83 dias após o plantio (no período de 3/10 a 28/11). Para o cálculo dos potenciais de água no solo, usou-se a metodologia proposta por REICHARDT (1978). Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 6 do Apêndice I.

e) Temperatura do Solo

Os dados de temperatura do solo, durante o ciclo da cultura, foram obtidos através de três termôgrafos de distância, marca Will Lambrech KG. Dois deles foram instalados equidistantes de 6 cm do eixo vertical das cápsulas nos T₁P₅ e T₃P₅ e o outro ficou como testemunha, fora dos 'bulbos molhados'. Cada termôgrafo registrava temperaturas a 15;30 e 60cm de profundidade. Os seus resultados, em média semanal, encontram-se na Tabela 7 do Apêndice I.

13. Produção e seus Componentes

A fenologia da cultura foi estudada através de medições de alturas das plantas e alturas das inserções das espigas do milho e a produção de grãos foi determinada a 15,5% de umidade por cápsula de cada sub-tratamento.

14. Análise dos Resultados

As análises estatísticas foram efetuadas pelos métodos usuais de análises das variâncias para parcelas sub-divididas com três repetições. A comparação entre as médias fez-se pelo teste de Tukey e determinou-se o nível de significância da correlação através do teste de F (ANDERSON & McLEAN, 1974).

CAPITULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Materiais Usados na Confeção de Cápsulas Porosas

A composição química média dos materiais argilosos usados na confecção das cápsulas porosas, encontra-se na Tabela 2 do Apêndice I.

As cápsulas porosas, confeccionadas com várias proporções de barbotinas A e B e submetidas a diferentes pressões hidrostáticas, apresentaram as liberações de água demonstradas na Tabela 1.

TABELA 1. Liberação diária de água em litros e em função das diferentes proporções de barbotinas A e B usadas na confecção das cápsulas porosas, sob diferentes pressões hidrostáticas (ΔH).

Proporções de Barbotinas A e B	$\Delta H(m)$	Liberações Diárias de Água			
		1,00	0,75	0,50	0,25
		%		(ℓ)	
20 ; 80		0,30±0,09	0,20±0,03	0,17±0,02	0,10±0,02
30 ; 70		3,62±0,34	3,02±0,28	2,03±0,23	0,82±0,15
35 ; 65		5,44±0,15	3,94±0,34	2,47±0,08	1,62±0,05
40 ; 60		7,72±0,94	6,32±0,79	4,34±0,33	2,83±0,44
50 ; 50		36,00±2,37	29,00±1,33	19,00±1,03	9,50±0,67

As cápsulas feitas com as proporções 50%; 50%, respectivas, de barbotinas A e B, apresentaram grandes liberações diárias, mesmo para a pressão hidrostática de 0,25m, mas devido a alta proporção da calcita, contida na barbotina A, que confere porosidade ao material após a cozedura e, em consequência, afetando as suas resistências ao choque e à compressão, tornaram-se inadequadas. Por outro lado, as proporções 20%; 80%, mostraram grandes resistências físicas, mas as liberações de água foram insuficientes.

As cápsulas confeccionadas com as proporções de barbotinas A e B, correspondentes a 30%; 70% e 35%; 65%, tinham grandes resistências físicas devido a predominância da barbotina B, porém suas liberações de água foram consideradas baixas, para as pressões 0,25 e 0,50m.

As proporções 40%, 60% foram consideradas ideais por possibilitar liberações de água de 3ℓ/dia, aproximadamente, até para a menor pressão hidrostática (0,25m). As cápsulas porosas fabricadas com estas proporções de barbotinas (A e B) apresentaram porosidade de 20 a 22%, resistência à compressão de 5 kg/cm² e condutividade hidráulica de 0,0054±0,0007 cm/h, a qual aproxima-se dos resultados obtidos por RENDON (1979) e supera em cinco vezes as condutividades das cápsulas fabricadas por SILVA (et alii (1978b)). Isto deve-se exclusivamente à natureza dos materiais argilosos utilizados neste traba

lho, para confecção das cápsulas porosas.

2. Liberação Diária de Água por Cápsula Porosa, durante o Ciclo de Cultivo.

A liberação diária de água por cápsula porosa, para os diferentes tratamentos (T), evaporação do tanque classe A e precipitação, durante 74 dias, encontram-se na figura 6.

Analisando as curvas de liberação diária de água, observa-se que as mesmas variaram de acordo com os tratamentos e condições climáticas, muito embora estas variações não tenham apresentado correlações significativas, com a evaporação do tanque classe A. As tendências de variar de acordo com a precipitação e a evaporação foram inferiores às observadas por OLGUIN et alii (1976), GARCIA (1977), SANTOS (1977) e SILVA et alii (1978a) ao empregarem o método por sucção, quando as liberações de água decresciam consideravelmente, na ocorrência de decréscimos bruscos na evaporação do tanque classe A.

No presente trabalho, após as precipitações que ocorreram a partir do dia 6 de novembro de 1979, os tratamentos reduziram suas liberações de água em, aproximadamente, 20%, muito embora estas ficassem ao redor de 4l/dia, até para o T₁, (figura 6.), o que se explica pelo fato de ser positivo o potencial de água no interior da cápsula porosa. Donde se conclui que o método de irrigação por cápsula porosa sob pressões é menos sensível que o método funcionando por sucção, quando se trata de correlacionar as liberações de água pelo sistema, com a evaporação do tanque classe A.

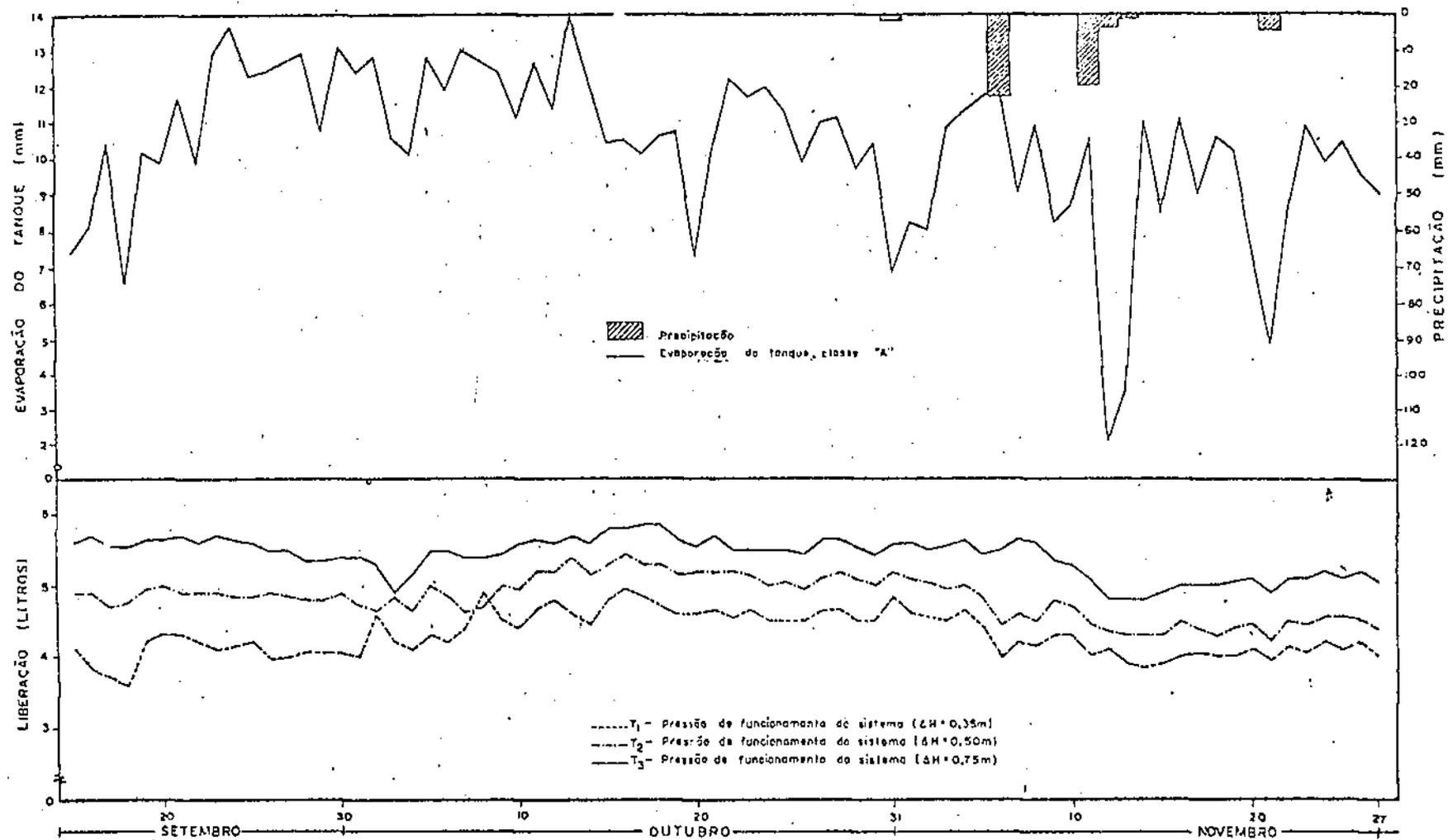


FIG. 6 LIBERAÇÃO DIÁRIA DE ÁGUA POR CÁPSULAS POROSAS PARA OS TRATAMENTOS, EVAPORAÇÃO DO TANQUE CLASSE "A" E PRECIPITAÇÃO DURANTE O CICLO VEGETATIVO DO MILHO.

As liberações médias diárias de água por cápsula, por tratamento e para os diferentes blocos, no período de 15/7/79 a 27/11/79, bem como o resumo da análise da variância, tem seus resultados na Tabela 1 do Apêndice 2.

Os valores da liberação média diária de água por cápsula porosa para todo o ciclo de cultivo, encontram-se na Tabela 2, onde constata-se diferenças significativas a nível de 1% de probabilidade entre os tratamentos (T). As maiores liberações de água ocorreram nos tratamentos T₂ e T₃, demonstrando que as diferentes pressões hidrostáticas influenciaram na liberação de água pelas cápsula, confirmando resultados obtidos por RENDON (1979) - segundo os quais a vazão da cápsula aumentou, à medida que se elevou o potencial no seu interior.

TABELA 2. Liberação média de água (ℓ) por cápsula porosa e em m³/ha para os diferentes tratamentos, durante o ciclo de cultivo.

Tratamento	Liberação média de água por cápsula		m ³ /ha
	Diária ¹	Total	
	(ℓ)		
T ₁	4,30 a	318,23	795,6
T ₂	4,83 b	357,40	893,5
T ₃	5,40 c	399,41	998,5

CV = 2,0%

DMS= 0,36

¹As medias seguidas de letras iguais na mesma coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

O coeficiente de variação, encontrado através da análise da variância, foi baixo, demonstrando que as cápsula apresentam uniformidade de liberação e podem ser utilizadas em estudos precisos que envolvam água, solo e planta, como também sua viabilidade de uso

em escala operacional nas regiões áridas e semi-áridas, por pequenos e médios produtores.

3. Distribuição do Conteúdo de Água no Solo, no Tempo e Espaço

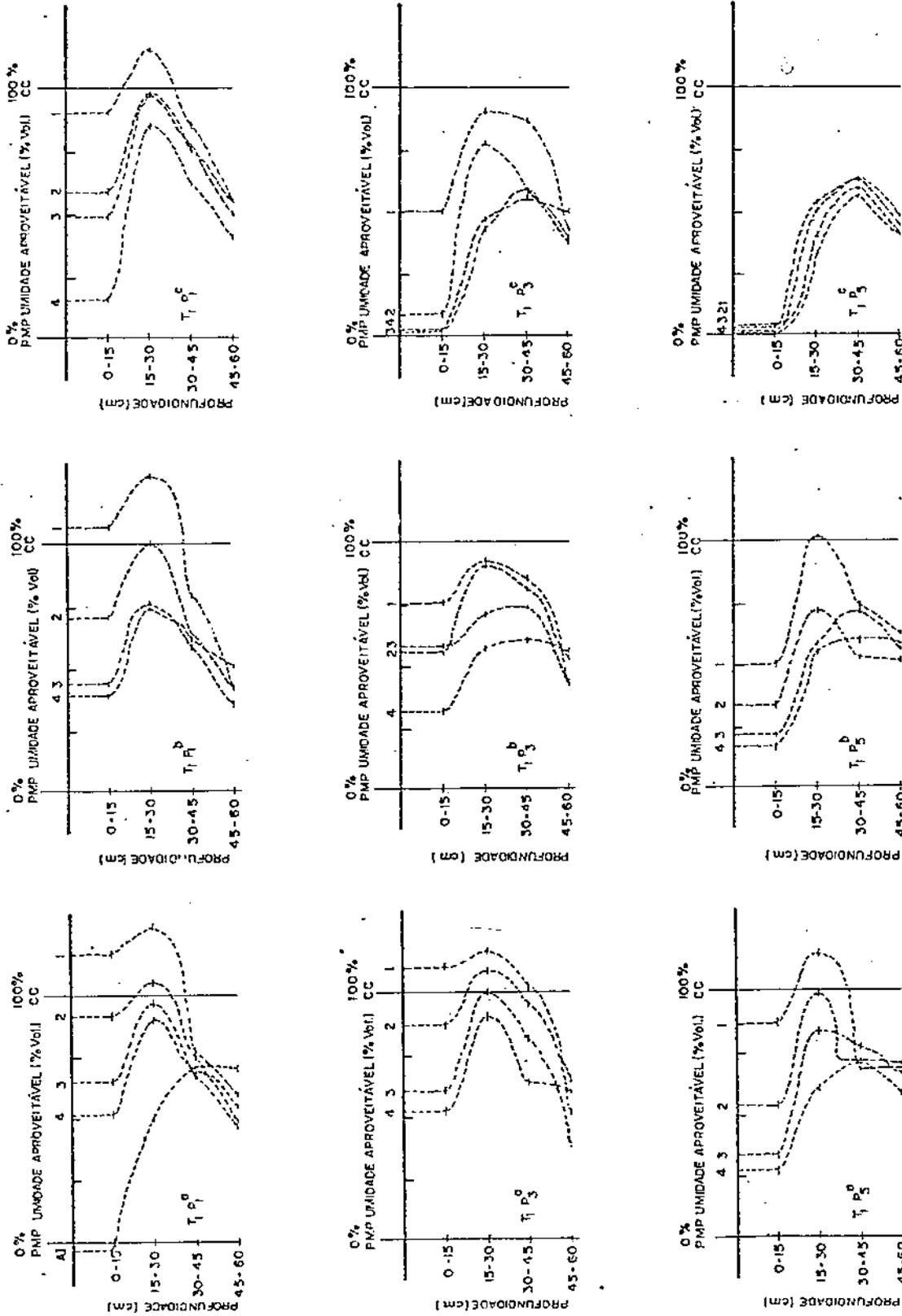
As características técnicas do método proposto, referentes à distribuição da água no solo, foram avaliadas através das determinações de umidade, por método gravimétrico, em diferentes pontos e profundidades do bulbo molhado das cápsulas porosas. Essas determinações foram realizadas nos períodos do ciclo fenológico da cultura, correspondentes aos 21, 42 e 83 dias após o plantio.

As distribuições da umidade aproveitável (UA) estão apresentadas, em base a volume, nas Figuras 7, 8 e 9, onde se considera o ponto de murchamento (PMP) e a capacidade de campo (CC) com UA 0% e 100%, respectivamente.

Analisando-se os teores de umidade na direção horizontal, e nas diferentes profundidades, verifica-se que o maior conteúdo de água no solo foi encontrado ao redor dos primeiros 10 cm do eixo vertical das cápsulas e nas profundidades de 15-30 cm. Algumas irregularidades quanto às distribuições de umidades (Fig. 7 e 9) são explicadas de acordo com as variações do solo nas diversas camadas, no que diz respeito a CC, PMP, densidade aparente (D_a) e a absorção de água pelas plantas.

A distribuição do conteúdo de água para o tratamento T_1 , nos sub-tratamentos P_1 , P_3 e P_5 , como se verifica na Figura 7, apresenta variações entre 50 e 100% de UA ao redor de um 'bulbo molhado' de 80 cm de diâmetro e profundidades de 15 a 45 cm, respectivamente, durante todo ciclo de cultivo, com exceção dos T_1P_3 e T_1P_5 , que apresentaram decréscimo de UA aos 83 dias após o plantio, principalmente o último, cuja umidade permaneceu dentro do 'bulbo molhado', em torno de 35 a 65%. Também se observa que a disponibilidade da umidade tende a crescer à medida que se aumenta T , tendo sido a mais expressiva no T_3P_1 , no decorrer do período fenológico, como se constata analisando as Figuras 8 e 9.

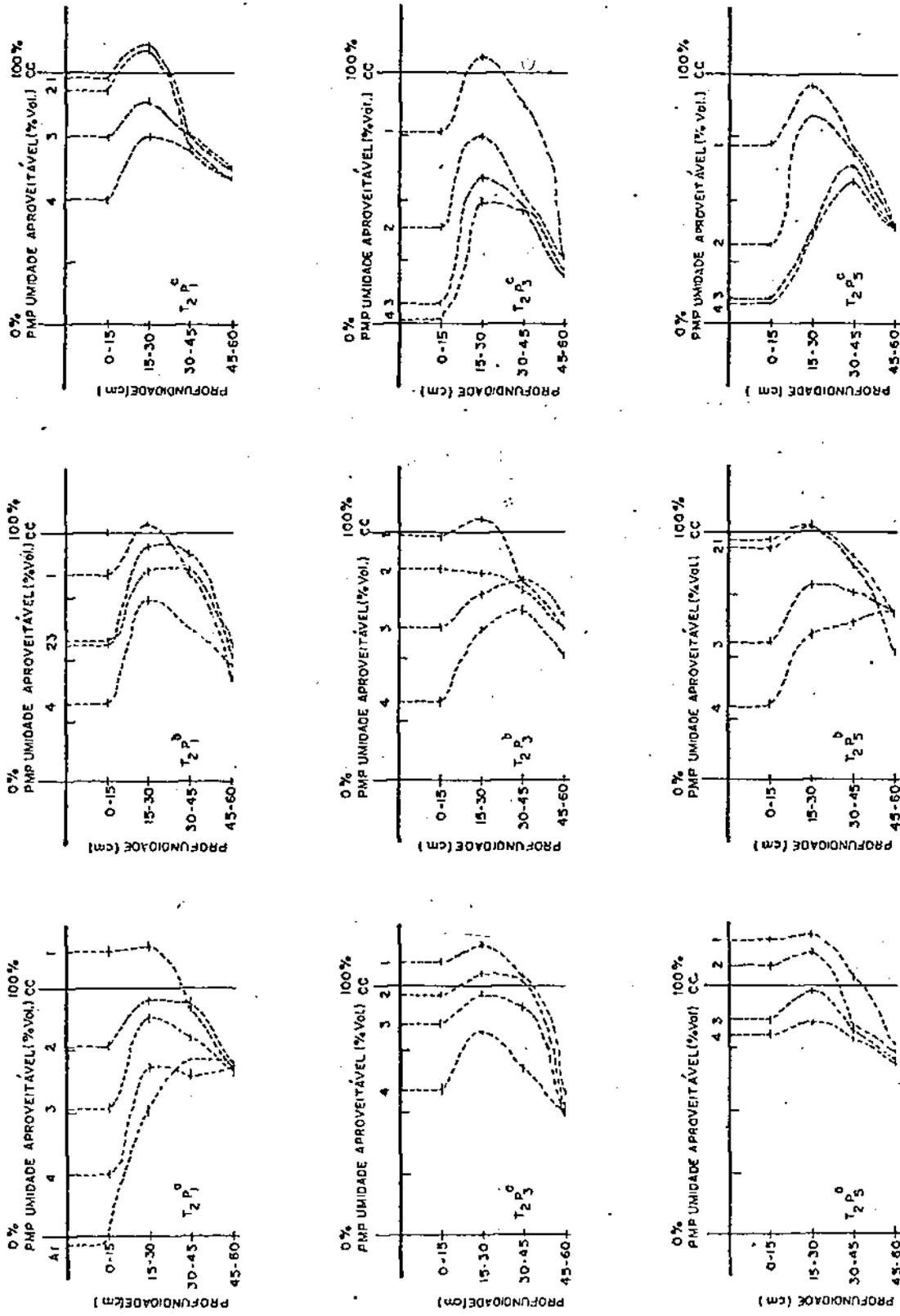
Os dados dos potenciais diários do T_1 obtidos através de tensiômetros de mercúrio, a 2 cm das paredes das cápsulas e a 25 cm



PMP - Ponto de murcha permanente
 CC - Capacidade de campo
 A1 - Umidade do solo antes da irrigação
 a - Umidade no bulbo molhado aos 21 dias após o plantio
 b - Umidade no bulbo molhado aos 42 dias após o plantio
 T₁ - Pressão de funcionamento do sistema (0,35m)

c - Umidade no bulbo molhado aos 83 dias após o plantio
 1 - Ponto a 10cm do eixo vertical da edícula
 2 - Ponto a 20cm do eixo vertical da edícula
 3 - Ponto a 30cm do eixo vertical da edícula
 4 - Ponto a 40cm do eixo vertical da edícula
 P₁, P₂, P₃ correspondem, respectivamente, a 1; 2 e 3 plantas/cápsula

Fig. 7 Distribuição do conteúdo de água no bulbo molhado no tempo e espaço aos 21, 42 e 83 dias após o plantio.



PMP - Ponta de Murcha Permanente
 CC - Capacidade de Campo
 A1 - Umidade do solo antes da irrigação
 a - Umidade no bulbo molhado aos 21 dias após o plantio
 b - Umidade no bulbo molhado aos 42 dias após o plantio
 T₂ - Pressão de funcionamento do sistema (0,50m)

c - Umidade no bulbo molhado aos 83 dias após o plantio
 1 - Ponta a 10cm do eixo vertical da cápsula
 2 - Ponta a 20cm do eixo vertical da cápsula
 3 - Ponta a 30cm do eixo vertical da cápsula
 4 - Ponta a 40cm do eixo vertical da cápsula
 P₁, P₂, P₃ correspondem, respectivamente, a 1, 7, e 13 plantas/cápsula

Fig. 8 Distribuição do conteúdo de água no bulbo molhado no tempo e espaço aos 21, 42 e 83 dias após o plantio.

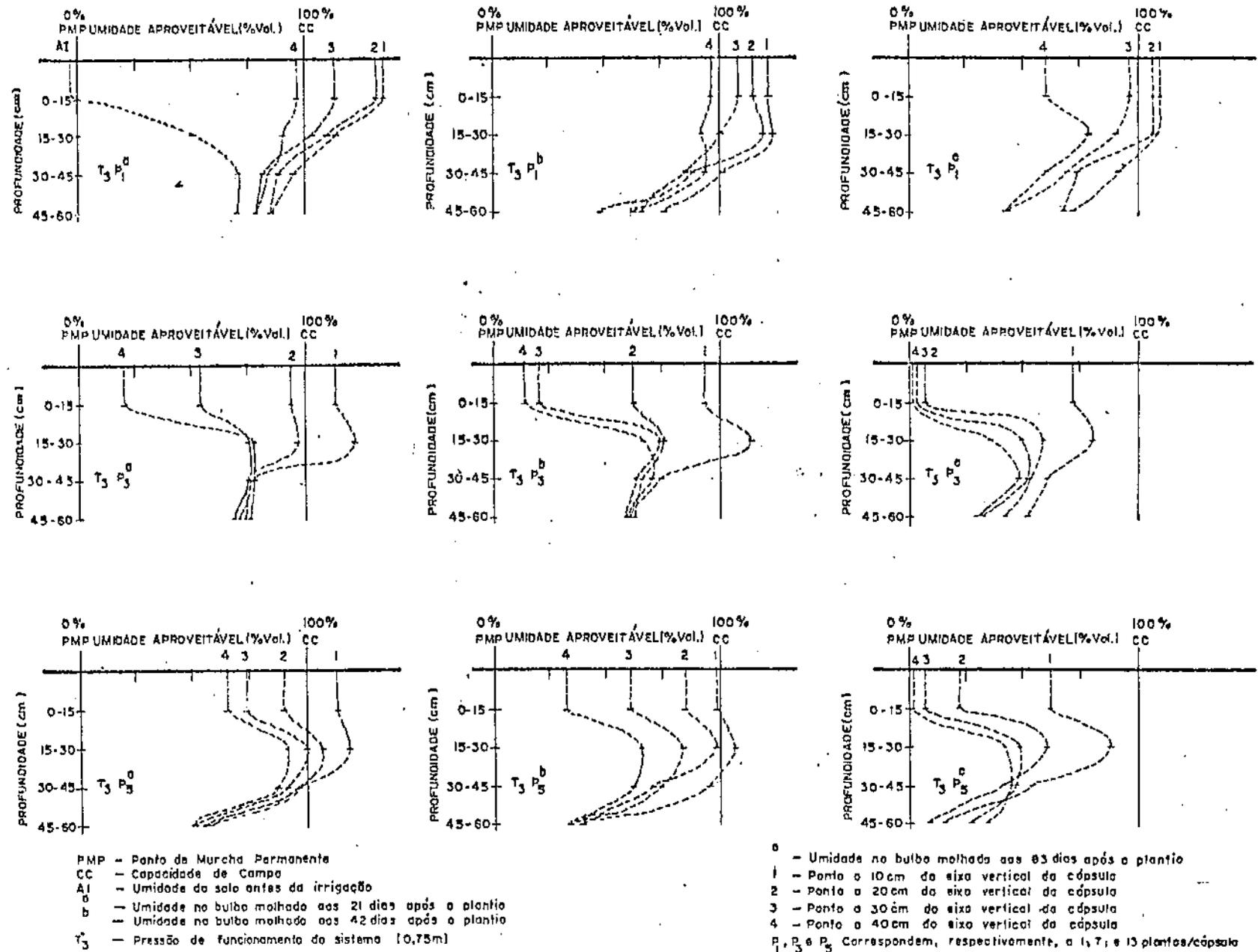


Fig. 9 Distribuição do conteúdo de água no bulbo molhado no tempo e espaço aos 21, 42 e 83 dias após o plantio.

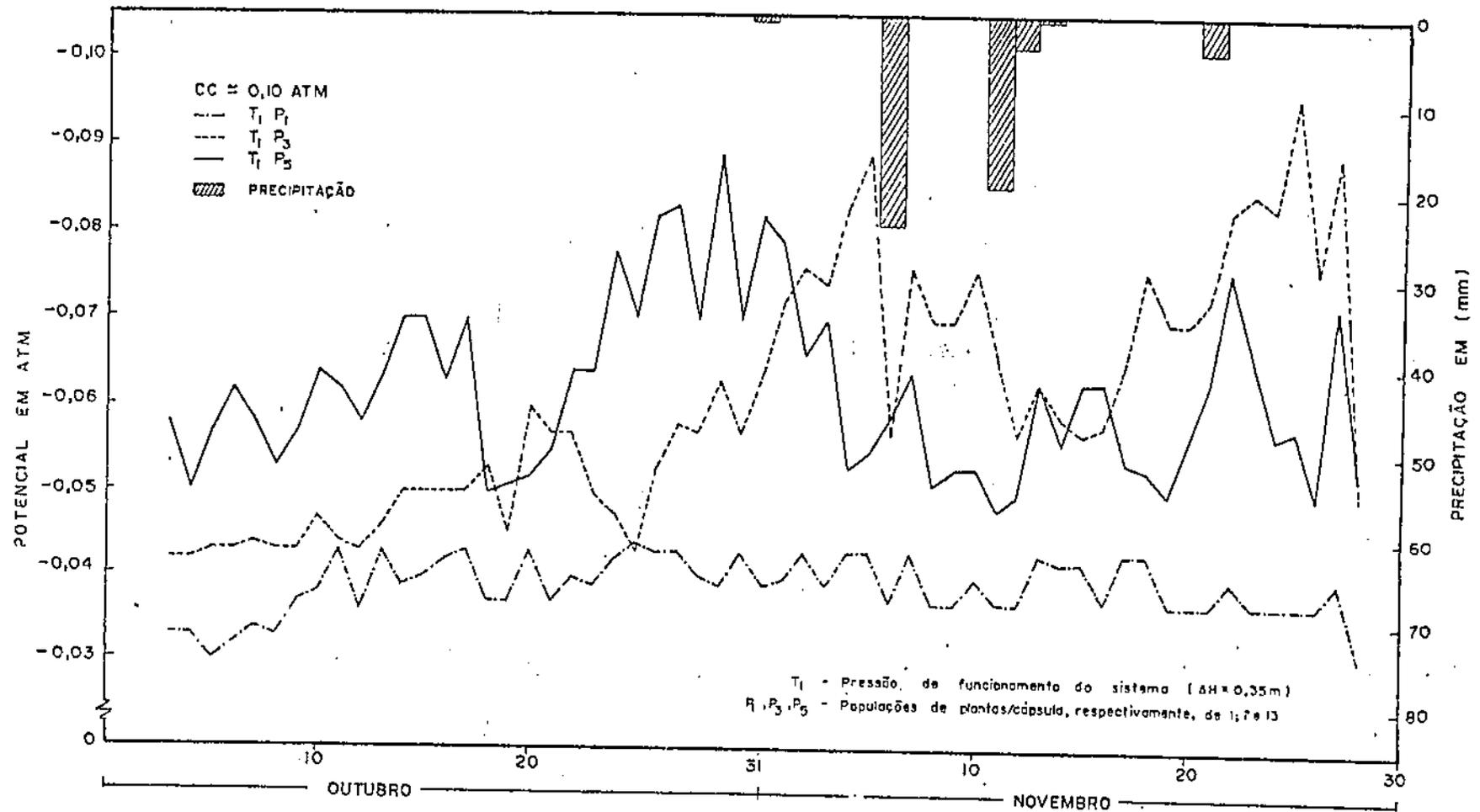


FIG.10 POTENCIAIS MATRICIAIS DIÁRIOS DOS SUB-TRATAMENTOS P_1 , P_3 E P_5 DO TRATAMENTO T_1 E PRECIPITAÇÕES NO PERÍODO (OUTUBRO/NOVEMBRO)

da superfície do solo, indicam que o potencial de água no solo, mante-se, acima de $-0,1 \text{ atm}$, como mostra a Figura 10.

Os potenciais de água no solo, dados em atm, (Figura 10) apresentam coerência, proporcionalmente, aos resultados das determinações gravimétricas da umidade do solo (Figura 7), para os 42 e 83 dias após o plantio.

Os mais elevados potenciais foram registrados para o P_1 , justificado pela menor demanda evapotranspirativa da cultura. Por outro lado, P_3 apresentou potenciais mais baixos do que P_5 , a partir dos 54 dias após o plantio. Estes resultados estão de acordo com os dados de maior desenvolvimento foliar final e produção de milho para o P_3 (conforme dados de produção, Tabela 5 do Apêndice II). Os potenciais para o T_3 foram semelhantes ao T_1 , nos aspectos estudados. Porém, o T_2P_5 apresentou potenciais mais baixos do que T_2P_3 . Para o referido tratamento, foi notado um melhor desenvolvimento vegetativo no caso do P_5 comparado ao P_3 , mas não se dispõe de elementos que justifiquem tal comportamento.

A distribuição do conteúdo de água se comporta distintamente para cada tratamento (T), com relação a um mesmo sub-tratamento (P), aos 21, 42 e 83 dias após o plantio. Entretanto, esta variabilidade da UA é menos significativa para os tratamentos T_2 e T_3 . Isto se explica porque houve maior liberação de água pelas cápsulas nos tratamentos T_2 ($4,83 \text{ l/dia}$) e T_3 ($5,40 \text{ l/dia}$), sendo, portanto, menor o déficit de UA para as populações mais altas: sete a treze plantas por cápsulas porosas (Figuras 8 e 9). Todavia, no que diz respeito ao sub-tratamento P_1 , ocorreu um acréscimo da UA nos pontos igualmente espaçados de 10 cm (1, 2, 3 e 4), do T_3 comparado ao T_1 , mas o mesmo não ocorreu para o T_2 (Figuras 7, 8 e 9), durante o ciclo de cultivo.

As UA existentes dentro dos 'bulbos molhados' variaram, significativamente, para os diferentes tratamentos e sub-tratamentos, como demonstram as Figuras 7 e 9, cujas UA, para uma distância horizontal de 40 cm (4) do eixo vertical da cápsula porosa e uma profundidade de 0-15 cm, diversificaram de aproximadamente 100% para o T_3P_1 , a 0% para o T_1P_5 , respectivamente, aos 21 e 83 dias após o plantio. Por estas observações, se conclui que a população P_5 é muito alta para o tratamento T_1 e a população P_1 é muito baixa para o tratamento T_3 ,

com relação ao uso de água pelas plantas.

A distribuição do conteúdo de água no solo é importante para o melhor manejo de cultivos, de acordo com BAVER et alii (1972) e KRAMER (1975). SINGH et alii (1978) afirmaram que as culturas anuais não são afetadas em seus rendimentos, quando a suplementação de UA é superior a 60%. As UA apresentadas nas Figuras 7, 8 e 9, para os sub-tratamentos P_3 dos tratamentos T_1 , T_2 e T_3 , demonstram que estas sempre estiveram entre 60 e 100% para um 'bulbo molhado' médio de 40 cm de diâmetro e uma profundidade média entre 15-45 cm.

A máxima demanda de água, durante o período crítico do milho, para diferentes sub-tratamentos (P), afetou a distribuição do conteúdo de água, reduzindo-a no espaço, como se observa, principalmente, aos 42 e 83 dias após o plantio, sendo, a mais significativa redução, observada no tratamento T_1 (Figura 7).

Comparando-se o método de irrigação por cápsula porosa com o por gotejamento, verifica-se, semelhança entre eles, mas pelo fato da irrigação por cápsula ser constante ao longo do tempo, este apresenta vantagens sobre o gotejamento que por sua vez obedece às frequências de irrigação, usualmente, pré-estabelecidas.

Devido à constante e uniforme liberação de água pelo método de irrigação por cápsula porosa, as plantas não sofrem "stress" de umidade, como ocorre, em alguns casos, para os métodos por sulco e aspersão; OLGUIN et alii (1976) e SINGH et alii (1978).

A distribuição do conteúdo de água no solo pelo método de irrigação por cápsula porosa, permite concluir que houve um acréscimo de umidade na camada de 0-30 cm e que as disponibilidades máximas ocorreram às profundidades entre 15 e 45 cm, formando um 'bulbo molhado' com diâmetro médio de 80 cm. A menor quantidade de UA foi observada para o T_1P_5 , aos 83 dias após o plantio, e, para o tratamento que forneceu maior liberação de água por cápsula porosa, não se verificou, pela metodologia utilizada, perdas de água por percolação profunda.

4. Produção e Eficiência do Uso de Água

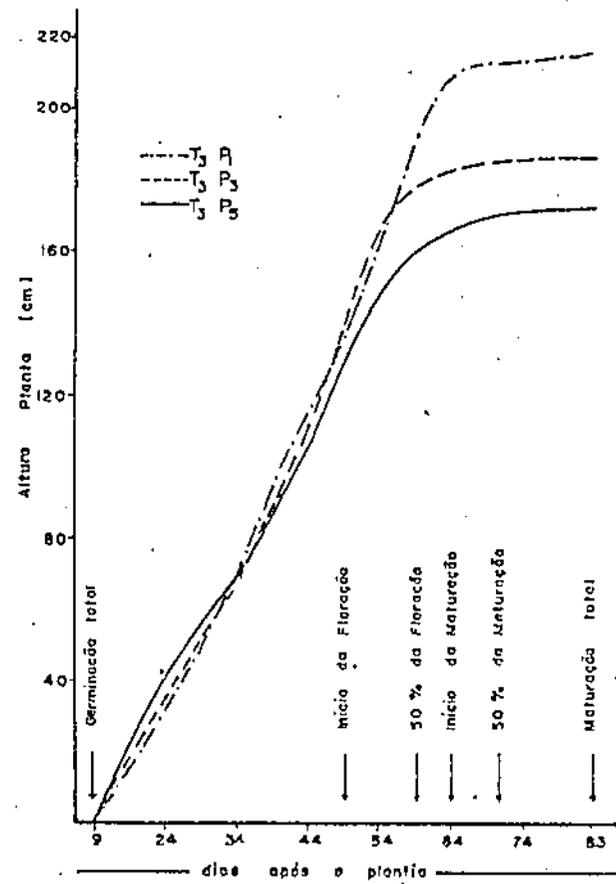
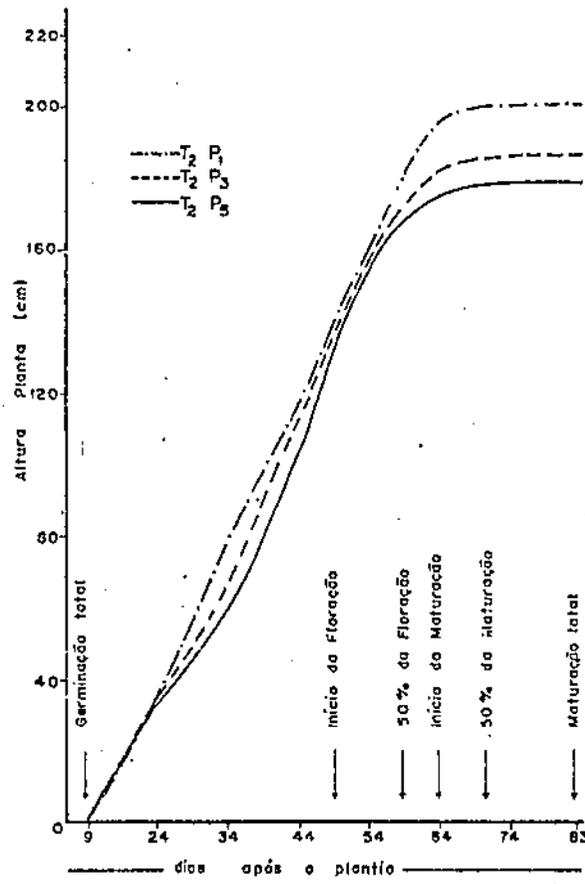
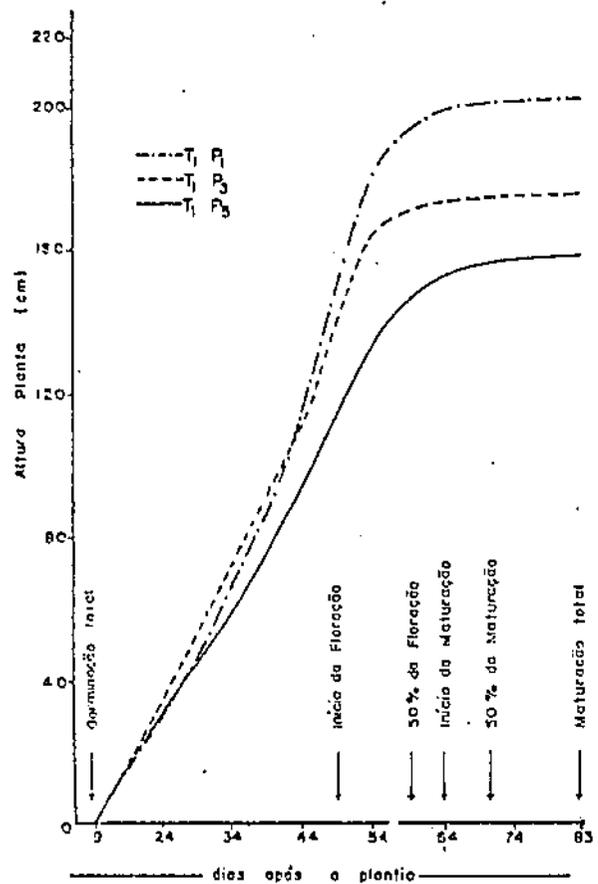
4.1. Ciclo Fenológico da Cultura

Nas diversas fases do ciclo fenológico da cultura, tais como: germinação total, início de floração, 50% de floração, início de maturação, 50% de maturação e maturação total, praticamente não se observou influências dos tratamentos e sub-tratamentos.

As curvas de crescimento da cultura para os tratamentos (T_1 , T_2 e T_3) e sub-tratamentos (P_1 , P_3 e P_5) estão apresentadas na Figura 11. Observou-se que não houve, praticamente, diferenças de alturas das plantas, para os sub-tratamentos considerados, até aos 54 dias após o plantio, com exceção do T_1P_5 que diferiu, em altura, dos demais, T_1P_1 e T_1P_3 , a partir dos 34 dias após o plantio. Essa diferença, pode ser atribuída ao número de plantas do P_5 e a baixa pressão hidrostática do T_1 . Todas as plantas, independentemente dos tratamentos e sub-tratamentos a que correspondiam, atingiram suas alturas máximas aos 64 dias após o plantio. Os resultados referentes aos sub-tratamentos P_2 e P_4 não estão apresentados na Figura 11, mas suas curvas apresentaram valores intermediários a $P_1...P_3$ e $P_3...P_5$, respectivamente.

As alturas médias das plantas e das inserções das espigas do milho sob diferentes tratamentos e sub-tratamentos e em diferentes épocas do ciclo fenológico da cultura, bem como os resumos das análises da variância para o período final (83 dias após o plantio), encontram-se nas Tabelas de 2 a 4 do Apêndice II.

As análises da variância para as alturas das plantas e das inserções das espigas, aos 83 dias após o plantio, fase da maturação total, não mostraram diferenças significativas quanto aos tratamentos (T), mas apresentaram-nas quanto aos sub-tratamentos (P). Na Tabela 3, estão apresentadas as alturas médias das plantas e das inserções das espigas, para os sub-tratamentos, independentemente dos tratamentos.



P_1, P_2 e P_3 - População de plantas/cápsula, respectivamente, de 1,7 e 13
 T_1 - Pressão de funcionamento do sistema ($\Delta H=0,35m$)

T_2 - Pressão de funcionamento do sistema ($\Delta H=0,50m$)
 T_3 - Pressão de funcionamento do sistema ($\Delta H=0,75m$)

Fig.11— CICLO FENOLOGICO DA CULTURA DO MILHO PARA OS TRATAMENTOS (T_1, T_2 E T_3) E POPULAÇÕES (P_1, P_2 E P_3)

TABELAS 3. Alturas médias, das plantas e das inserções das espigas para os sub-tratamentos, aos 83 dias após o plantio.

Sub-tratamentos	Alturas ¹	
	Plantas	Inserções de espigas
	(cm)	
P ₁	206,00 a	98,50 a
P ₂	185,66 ab	83,86 bc
P ₃	185,66 ab	85,03 b
P ₄	174,00 b	74,10 cd
P ₅	170,33 b	72,70 d
CV	8%	9%
DMS	21,63	10,82

¹As médias seguidas de letras iguais na mesma coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

Os resultados apresentados na Tabela 3 permitem concluir que as alturas máximas das plantas foram atingidas pelo P₁, muito embora este não difira, significativamente, do P₂ e P₃. Analogamente, P₂, P₃, P₄ e P₅ não diferem estatisticamente entre si, mas P₅ é o que apresenta menor altura.

Quanto às alturas das inserções das espigas, nota-se que P₁ divergiu, significativamente, em relação aos demais sub-tratamentos. Além disso, P₃ apresentou diferenças em relação a P₄ e P₅; bem como P₂, em relação a P₅.

Como não ocorreram diferenças estatísticas nas alturas das plantas e das inserções das espigas, quanto aos tratamentos, determinou-se regressões com os seus valores médios de cada sub-tratamento, por cápsula porosa, sendo que, para ambos os casos, a equação linear foi significativa a nível de 1% de probabilidade, enquanto que as

equações quadrática, cúbica e quártica não o foram. Pelas equações 5 e 6 apresentadas a seguir, pode-se determinar, satisfatoriamente, as alturas médias das plantas e das inserções das espigas, quando se dispõe do número de plantas (P) por cápsula porosa.

$$Y_1 = 204,46 - 2,83 X \quad (R^2 = 0,90) \quad (5)$$

$$Y_2 = 97,19 - 2,04 X \quad (R^2 = 0,87) \quad (6)$$

onde Y_1 , Y_2 , X e R^2 representam a altura das plantas em cm, a altura média das inserções das espigas em cm, o número de plantas por cápsula porosa e o coeficiente de determinação, respectivamente.

4.2. Produção de Grãos

As médias das produções, por cápsula, para os diversos tratamentos e populações dos correspondentes blocos, bem como o resumo da análise da variância dos seus valores, encontram-se na Tabela 5 do Apêndice II.

Os resultados da produção média de milho por cápsula porosa não apresentam diferenças significativas quanto aos tratamentos (T_1 , T_2 e T_3), mas, entre os sub-tratamentos (P), houve diferenças como mostra a Tabela 4.

TABELA 4. Produção média de milho por cápsula porosa para os diferentes tratamentos e sub-tratamentos.

Tratamentos	Produção média					Médias ¹
	Sub-tratamentos P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	
T ₁	288,80	592,40	837,73	790,00	661,73	634,13A
T ₂	258,86	804,33	829,80	732,93	807,93	686,77A
T ₃	219,66	541,66	915,73	904,66	876,66	691,67A
Médias ¹	255,77a	646,13b	861,08c	809,19c	782,10c	670,85

CV = 15,5%
DMS = 125,85

¹ As médias horizontais ou verticais seguidas das mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 1% de probabilidade.

Conforme a Tabela 4, constata-se que houve diferenças significativas, ao nível de 1% de probabilidade na produção de milho, entre P_1 e P_2 e, destes, em relação aos demais, Quanto a P_3 , P_4 e P_5 não deferiram, estatisticamente, mas P_3 apresentou a maior produção de todos os sub-tratamentos,

Considerando-se as produções médias, por planta, de cada sub-tratamento, tem-se $P_1 = 255,77g$; $P_2 = 161,53g$; $P_3 = 123,01g$; $P_4 = 80,92g$ e $P_5 = 60,16g$. Como se demonstrou, as produções por planta decrescem de P_1 para P_5 , o que era esperado, devido ao fato da área de exploração da cultura ser limitada ao 'bulbo molhado'.

Extrapolando-se a produção do sub-tratamento P_3 , para uma população de 50.000 plantas por hectare, obter-se-ia 6.150 Kg/ha de grãos de milho. Em condições irrigadas, SILVA et alii (1977) e SILVA et alii (1978) obtiveram produções de 3.150 e 5.968 Kg/ha, irrigando-se por sulcos e por aspersão, respectivamente. Constata-se que as produções de milho foram, relativamente, maiores para o método de irrigação por cápsula porosa do que para os demais métodos de irrigação estudados.

Com os dados de produção por cápsula nos sub-tratamentos (Tabela 4), determinou-se a correlação, onde considerou-se a produção de milho (g) como variável dependente (Y) e a densidade de plantas por cápsula (X) como variável independente. Os resultados indicam que a equação quadrática, significativa a nível de 1% de probabilidade, com coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,82, explica, satisfatoriamente, a variação da produção através da densidade de plantas por cápsula porosa. Quanto às equações, cúbica e quártica, não apresentaram resultados significativos.

De acordo com a Figura 12, a produção de milho cresce até determinado ponto, quando se aumenta o número de plantas por cápsula porosa, de tal forma que seu máximo teórico de produção foi obtido numa densidade de nove plantas, e daí decresce para as populações subsequentes. Como este resultado pouco difere da produção real obtida para a população de sete plantas, recomenda-se esta para o método de irrigação por cápsula porosa sob pressão hidrostática.

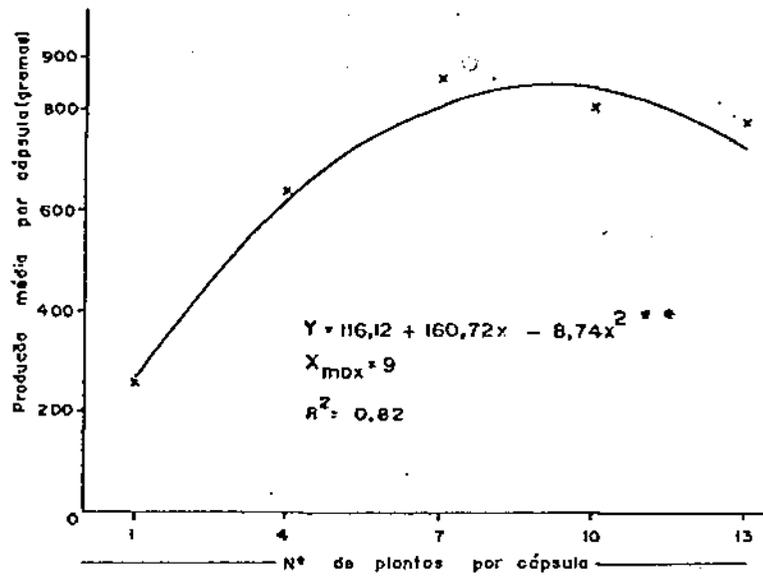


Fig. 12—Correlação entre o número de plantas e produção de milho por cápsula.

** Significativo, o nível de 1%, pelo teste de F.

4.3. Eficiência do Uso de Água

Considerando-se as produções médias dos tratamentos, independentemente dos sub-tratamentos, obteve-se 0,634; 0,687 e 0,692 Kg de grãos de milho por cápsula porosa para os tratamentos T_1 , T_2 e T_3 , respectivamente.

Com os dados médios de produção e volumes de água liberados por cápsula, determinou-se a eficiência do uso de água, onde os resultados dos cálculos estão apresentados na Tabela 5.

T_1	0,634	0,318	2,0
T_2	0,687	0,357	1,9

TABELA 5. Eficiência do uso de água para os diferentes tratamentos , pelo método de irrigação por cápsula porosa.

Tratamentos	Produção por cápsula	Volume de água Liberado por cápsula	Eficiência do uso de água
	—(kg)—	—(m ³)—	—(kg/m ³)—
T ₁	0,634	0,318	2,0
T ₂	0,687	0,357	1,9
T ₃	0,692	0,399	1,7

Observando-se os resultados contidos na Tabela 5, constata-se que a maior eficiência do uso de água verifica-se para o T₁, seguindo-se do T₂ e T₃. Como não houve diferenças significativas de produção entre os tratamentos e sim entre suas liberações de água e, considerando-se a praticidade de funcionamento do sistema para o tratamento T₂, bem como o baixo consumo de água, razoável produção e elevada eficiência do uso de água, fez-se comparações entre a eficiência do presente método com as que foram reportadas na literatura para a cultura do milho, conforme demonstra a Tabela 6.

TABELA 6. Eficiência do uso de água na produção do milho (*Zea mays* L.) por diferentes métodos de irrigação.

Método de irrigação empregado	Eficiência do uso de água
	—(kg/m ³)—
Sulco fechado (SILVA & MAGALHÃES, 1978)	0,7
Sulco aberto (LIRA & TORRES, 1977)	1,0
Aspersão (SILVA et alii, 1978)	0,9
Gotejamento (OLGUIM et alii, 1976)	1,4
Cápsula porosa por sucção (OLGUIM et alii, 1976)	2,7
Cápsula porosa sob pressão hidrostática ($\Delta H=0,50$ m)	1,9

Comparando-se o método de irrigação por cápsula porosa sob pressão hidrostática com os apresentados na Tabela 6, constata-se que a eficiência do uso de água deste método só foi inferior ao de irrigação por sucção.

Sabe-se que, por sucção, o consumo de água é autoregulado pela cultura (OLGUIN, 1975; GARCIA, 1977 e SILVA et alii, 1978a), por isso a eficiência do uso de água ter sido superior à do sistema por cápsula sob pressão hidrostática. Mas, para o primeiro método em escala operacional, há limitações, como: problemas de entrada de ar na tubulação e reduzido comprimento de linha de irrigação (SILVA et alii, 1978a).

Por outro lado, quando o sistema funciona sob pressão hidrostática, há liberações de água, até certo ponto, independentemente das necessidades hídricas da cultura, o que justifica apresentar menor eficiência do uso de água comparado ao método por sucção. No caso da cápsula porosa, submetida a pressões hidrostáticas, pode-se verificar os efeitos da sucção do solo, aumentando suas vazões, a partir do período em que as necessidades hídricas da cultura requeram mais água do que a quantidade, normalmente, liberada pela cápsula devido às pressões hidrostáticas.

Considerando-se as vantagens do método de irrigação por cápsula porosa sob pressão hidrostática, tais como: grande economia de água, facilidade de operação do sistema e seu viável emprego em escala operacional, com elevada eficiência do uso de água, conclui-se que o método adequa-se, satisfatoriamente, às situações próprias do nordeste do Brasil.

CAPITULO V

CONCLUSÕES

1. Das diferentes proporções de barbotinas A e B que se testou na confecção de cápsulas porosas, a proporção 40%, 60% foi considerada ideal por ter resultado cápsulas com melhores características técnicas, tais como: porosidade 20 a 22%, resistência à compressão de 5kg/cm^2 , condutividade hidráulica de $0,0054 \pm 0,0007$ cm/h e vazões de $2,83 \pm 0,44$ l/dia sob pressão hidrostática de 0,25m, em condições saturadas.
2. O consumo de água para as pressões hidrostáticas de 0,35; 0,50 e 0,75m foram respectivamente, de 796; 894 e 1000 m^3/ha , durante o período de cultivo do milho, o que demonstrou grande economia de água.
3. As cápsulas porosas sob diferentes pressões hidrostáticas apresentaram uniformidade na liberação de água durante o ciclo de cultivo, podendo ser utilizadas em estudos precisos que envolvam água, solo e planta.

4. O método de irrigação por cápsula porosa é um método localizado, onde os teores de umidade tendem a crescer de 0 a 30 cm de profundidade, atingindo aí seu nível máximo. A partir desta faixa, o teor de umidade decresce, no sentido das camadas inferiores, não se observando, pela metodologia utilizada, perda de água por percolação, formando um 'bulbo molhado' de aproximadamente 80 cm de diâmetro ao redor da cápsula porosa.
5. O potencial matricial de água no solo, a dois centímetros da parede da cápsula, manteve-se acima de -0,1 atm (capacidade de campo) e a umidade aproveitável variou de 60 a 100% para um diâmetro médio de 40 cm, compreendendo a profundidade de 15 a 45 cm, durante o ciclo do cultivo.
6. Os tratamentos empregados não afetaram, significativamente, as alturas finais das plantas e das inserções das espigas, nem a produção do milho, indicando que, para este método de irrigação, a pressão hidrostática de 0,35m é satisfatória. Mas, a pressão hidrostática de 0,50m é recomendável para trabalhar em escala operacional, devido sua conveniência técnica de funcionamento no sistema.
7. Observou-se uma correlação significativa, a nível de 1% de probabilidade, entre o número de plantas por cápsula porosa e suas respectivas produções, através da equação quadrática, onde a produção máxima estimada foi para a densidade de nove plantas. No presente trabalho, a população de sete plantas por cápsula porosa apresentou a máxima produção, a qual convertida para uma densidade de 50.000 plantas por hectare, corresponderia a produção estimada de 6.150 kg/ha.
8. O método de irrigação, em estudo, apresentou alta eficiência no uso de água, 1,9 kg/m³ em média, o que representa quase o dobro das eficiências conseguidas pelos métodos convencionais de irrigação, não se levando em conta as diferenças no manejo.
9. O método de irrigação por cápsula porosa, sob pressão hidrostática é tecnicamente viável em áreas com limitada disponibilidade

de água, onde poderão ser exploradas culturas de subsistência e hortaliças por pequenos e médios produtores. Mas, precisa-se de desenvolver trabalhos visando testar a durabilidade do sistema e assim estudá-lo quanto aos aspectos econômicos de sua utilização em escala comercial. Também, recomenda-se desenvolver trabalhos visando diminuir os custos do sistema e verificar as vazões das cápsulas ao longo do tempo.

LITERATURA CITADA

- ANDERSON, V. L. & McLEAN, R.A. Design of experiment. A realistic approach. Marcel Dekker, inc. New York, 1974. V. 5, 418p.
- ARAÚJO, J. V. de. Produção de Cápsulas Porosas. CECASA, Barbalha-CE, 1979, 6p (Mimeografado).
- AZEVEDO, H. M. de. Características da infiltração em sulcos abertos e fechados. Campina Grande, PB. Universidade Federal da Paraíba, 1975, 56p (Tese Mestrado).
- BAVER, L. D.; GARDNER, W. H. & GARDNER, W. R. Soil Phisics. John Wiley & Sons, New York, 1972, 4 ed. 498p.
- BRASIL, DNOCS. 3. Diretoria Regional. Contribuição ao estudo das culturas irrigadas: pesquisas agropecuárias. Recife, 1972.
- CATÃO, A. J..C. Evaluacion del metodo de riego por aspersion basado en patrones de aplicacion. Chapingo, México, Escuela Nacio

- nal de Agricultura, Colégio de Postgraduados, 1975, 176p. (Tese Mestrado).
- CHOUDHURY, E. N. & MILLAR, A. A. Características físico-hídricas de três latossolos irrigados do projeto Bebedouro. EMBRAPA/CPA TSA/, 1979. 13p. (Mimeografado).
 - DEMATTÊ, F. B. I. Construção dos componentes do sistema Stauch de irrigação subterrânea. O Agrônomo, Campinas-SP, 25 (nº único): 35-42, 1973.
 - DONEEN D. I. Practica del riego y ordenación de aguas. Roma, FAO, 1977. p. 14 (Estudio FAO, Riego y Drenaje, 1).
 - EMBRAPA/CPATSA. Resumos informativos. EMBRAPA/Departamento de Informação e Documentação. Brasília, 1977. V. 1, p. 9-10.
 - FAO, Roma. - Survey of the São Francisco river basin Brazil. Rome, 1967, V. 3.
 - FAO/PNUD. Estudios de Irrigación e Ingenieria. Estudios de la cuenca del Rio São Francisco. Rome, FAO/PNUD. 1971. 301p.
 - FERNANDES, C. S. Auto-Irrigação para ensaios em vasos. Recife, 1978. 4p. (Mimeografado).
 - GARCIA R. C.A., Efeito del riego por succion sobre la potencialidad de rendimento de la fresa y eficiencia en el uso del agua. Chapingo, México, 1977, 58p. (Tese Mestrado).
 - GUROVICH, L. A. Uso de tensiômetros como método de determinacion de frequências y laminas de irrigacion. Petrolina, PE, EMBRAPA/CPA-TSA, 1979. (Anexo 7; Mimeografado).
 - HARGREAVES, G.H. Climate zoning for agricultural production in Northeast Brazil. Utah State University. 1974. 6p.
 - HILLEL, D. Soil and Water-physical principles and processes. New York, Academic Press, 1971, 287p.

- JACKSON, R. D.; KIMBALL, B.A.; REGINATO, R.G. & NAKAYAMA, F. S.
Diurnal soil-water evaporation: time-depth-flux patterns. Soil Sci.Soc. Amer. Proc., 37, 505-9, 1973.
- KRAMER, P. J. Plant & soil water relationships: a modern synthesis. Tata McGraw-Hill Publishing Company LTD, New Delhi, 1975. 482p.
- LIRA, S. H. & TORRES, B. C. Determinacion del calendario optimo de riegos para dos hibridos de maiz en el Valle del Yaqui, Sonora. México, Centro de Investigaciones Agrícolas del Nordeste, Campo Agrícola Experimental del Valle del Yaqui, 1977, 21p.
- MAHDAVI, F. Riego com la jarra "Kuzen", Irrinews, (11): Abr, 1977.
- MORAIS, A. C. de, Custo de Produção de Milho (semente) na área irrigada por aspersão em Petrolândia-PE. Recife, SUDENE, 1972, 16p.
- MORALES, V. D. F. Uso de aguas saladas para riegos de cultivos por succion. Chapingo, México. Colégio de Postgraduados, 1978, 126p. (Tese Mestrado).
- OLGUIN P. C. Riego por succion, descripción del metodo y avances en la investigacion. 17p. Mimeografado. (Trabalho apresentado no Seminário Nacional de Riego por Goteo, 1., Hermocillo, Son., 1975.
- ———.; LLERENA, V.F.A.; VIZCAÍNO V.J. & PENA, J. de la. Observaciones sobre o efecto del riego por succion en el rendimiento y desarrollo de maiz (Variedad H-507), en el distrito de riego nº 41, Rio Yaqui, Sonora. 1976. 18p. (Mimeografado).
- PEREIRA, J. M. de. & SOUZA, R.N. de. Mapeamento detalhado da área da Barra de Bebedouro. Petrolina, PE, SUDENE, 1968. 57p. (Mimeografado).
- PONTES, J.O. O DNOCS e a Irrigação do Nordeste, s. 1, DNOCS, 1975. 23p.

- QUEIROZ, M.A.; ARAÚJO, J.P.; SOBRINHO, A. T.; LOPES, L.H.O. & NASPOLINI, V. Estudo do potencial de milho em oxisol irrigado. Resumo de atividades de pesquisa. Petrolina, PE, CPATSA, 1 (1): 82-4, 1977.
- ———; COSTA, S.N. da; LOPES, L.M. de O. de LISBOA, A.S. Influência da época de plantio de milho sobre a produção de grãos, em condições de cultivo irrigado no Submédio São Francisco. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 10., Sete Lagoas, 1974. Anais. Sete Lagoas, MG. PIPAEMG-IPEACO-CNPMS, 1974, p. 63-5.
- READ, D.W.L.; FLECK, S.V. & PELTON, W.L. Self-irrigating greenhouse pots. Agro. J, 54: 467-468. 1962.
- REBOUÇAS, A. da C. & MARINHO, M.E. Hidrologia das secas Nordeste do Brasil. Recife, SUDENE-DRN, 1972. 126p: (Brasil-SUDENE. Série Hidrologia, 40).
- REICHARDT, K. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. São Paulo, Fundação Cargil. ed. 3, 1975. 286p.
- ———. A água na produção agrícola. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1978, 119p.
- RENDON, P. L. Desarrollo y calibracion preliminar de um modelo matematico para riego por succion. Chapingo, México, Colégio de Postgraduados, 1979. 174p. (Tese Mestrado).
- RICHARDS, L. A. & BLOOD, H. L. Some improvements in auto-irrigator apparatus. J. Agric. Res., 49, 115-121, 1934.
- ——— & LOOMIS, W.E. Limitations of auto irrigators for controlling soil moisture under growing plants. Plant physiol. 17: 223-235. 1942.
- SANTOS, E. D. Determinación de la evapotranspiración en trigo mediante riego por succión. Chapingo, México, Escuela Nacional de Agricultura. Colégio de Postgraduados, 1977, 107p (Tese Mestrado).

- SILVA, A. de S. Manejo del agua de riego bajo diferentes metodos de labranza em maiz (Zea mays L.) Chapingo, México, Escuela Nacional de Agricultura, Colégio de Postgraduados, 1977, 231p. (Tese Mestrado):
- ——— & MAGALHÃES, A.A.de. Efeito de irrigação mínima na produtividade de milho e eficiência no uso de água. Petrolina, PE, EMBRAPA/CPATSA, 1978, 4p.(Mimeografado)
- ———; SANTOS, E.D. & MAGALHÃES, A.A. de. Confecção de cápsulas porosas para o método de irrigação por sucção. Recife-PE, EMATER-PE, 1978a. 17p. (Boletim Técnico, 13).
- ———; ——— & ———. Introdução e avaliação do método de irrigação por sucção na região do Trópico Semi-Árido. Recife, PE, EMATER-PE, 1978b. 19p. (Boletim Técnico 12).
- ———; SILVA, M.A. da; SOUZA, F. de; KIDMAN, D.C. & NUNES, R.F. de M. Interação entre umidade do solo, nitrogênio e densidade de população na produção do milho. Resumo de Atividades de Pesquisa, Petrolina, PE,CPATSA, 1 (2): 161-3, 1977.
- SILVA, M.A. de; MILLAR, A.A.; CHOUDHURY, E.N.; MARTINS, C.E. BANDEIRA R.E. & NASCIMENTO, T. Efeito da lâmina de irrigação e da adubação nitrogenada na produção de grãos de milho. Petrolina, PE, EMBRAPA/CPATSA, 1978:- 8p. (Mimeografado).
- SIMÃO, G.E. Controle da irrigação; métodos: tanque evaporimétrico e tensiômetro. Item, Brasília, D.F. (2): 33-6, 1980.
- SINGH, S.D.; GUPTA, J. P. & SINGH, P. Water economy and saline water use by drip irrigation. Agro. J., 70 : 848-51, 1978.
- WILSON, J.D. A double-walled pot for the auto-irrigation of plants. Bulletin of the Torrey Club, 56:139-153. 1929.



APÊNDICE - I

TABELA 1. Características físico-hídricas da série latossólica Unidade 37 AB^a

Características	Profundidade (cm)			
	0 a 15	15 a 30	30 a 45	45 a 60
Granulometria:				
Areia (%)	84	85	78	73
Siltre (%)	8	7	10	8
Argila (%)	8	8	12	19
Classificação textura (USDA)	areia	areia	arenoso	arenoso
Densidade aparente (g/cm ³)	1,64	1,66	1,60	1,62
Capacidade de campo (%)	10,62	11,73	10,40	11,84
Ponto de murcha permanente (%)	2,96	2,75	4,02	5,82

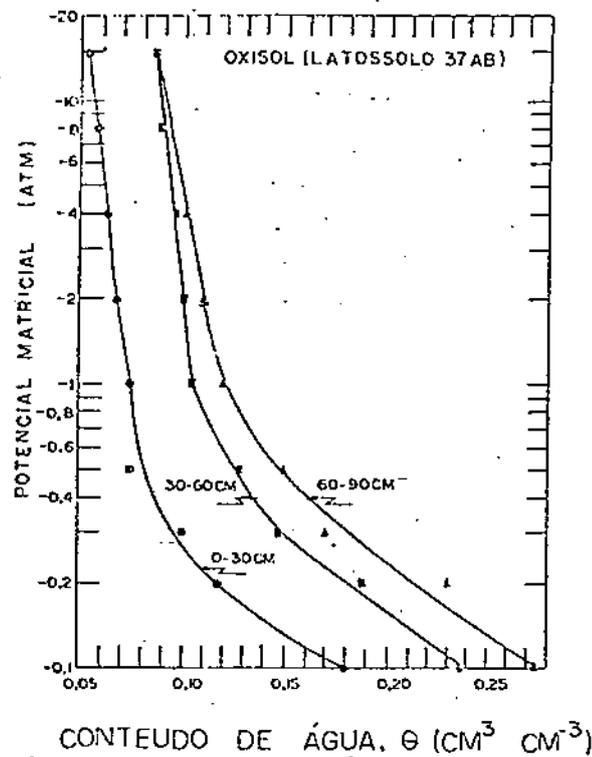
^a Dados por Azevedo (1975)

FIG. 3. CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA DO SOLO DA UNIDADE 37 AB^a
^a Dados por Choudhry e Millar (1979)

TABELA 2. Composição química média dos materiais argilosos usados na confecção das cápsulas porosas.^a

	Materiais (%)		
	Taguá	Xisto-talco	Calcita
Insolúveis	-	-	1,64
SiO ₂	53,69	52,42	-
Al ₂ O ₃	18,44	3,60	-
Fe ₂ O ₃	7,67	10,00	0,52
CaO	2,82	-	89,29
MgO	4,05	27,70	8,55
Na ₂ O	1,32	0,50	-
K ₂ O	0,85	-	-
Perda ao fogo	11,16	5,79	-

^aDados por Araújo (1979)

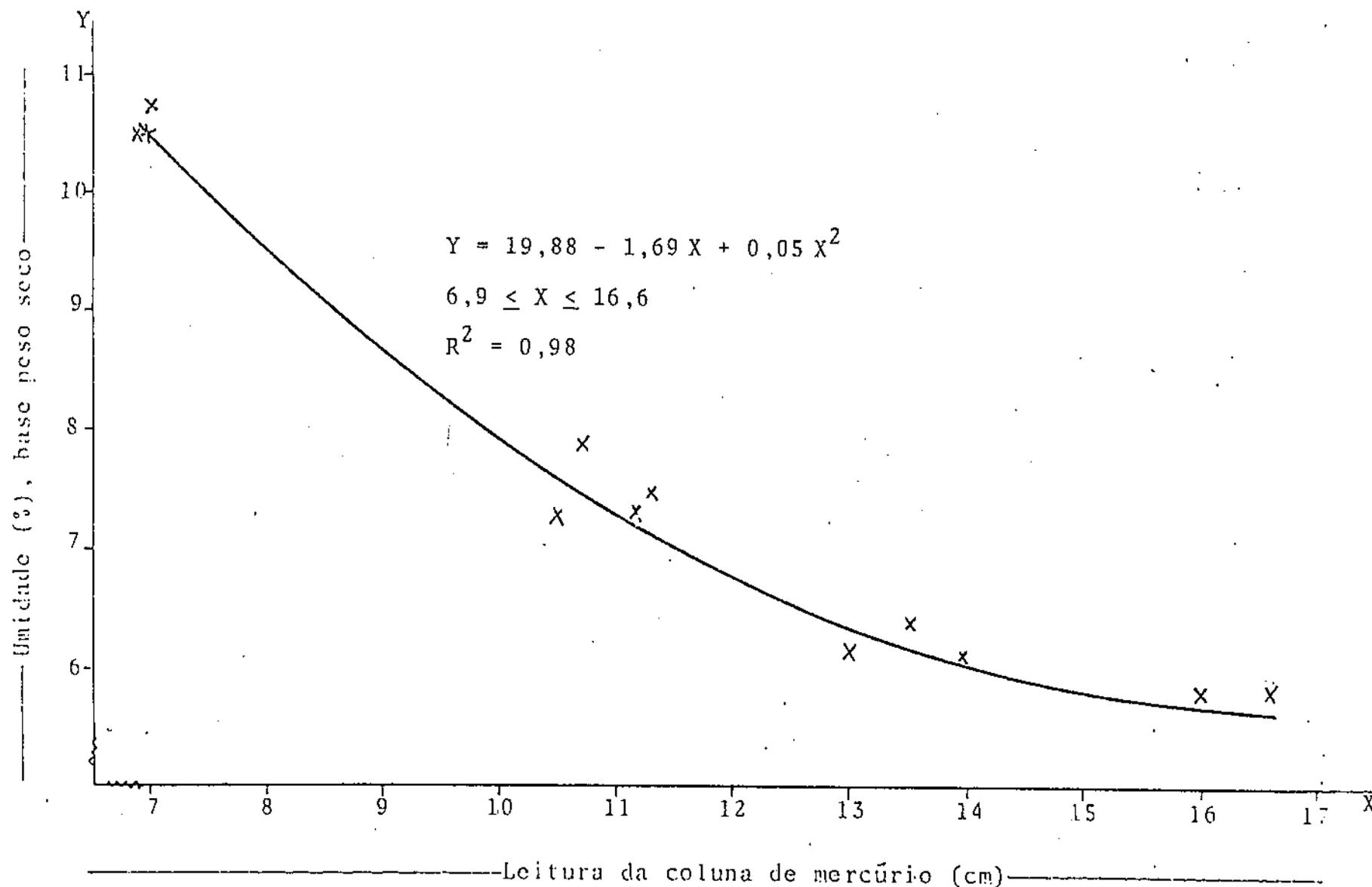


Fig. 2 - Correlação entre as leituras das colunas de mercúrio do tensiômetro com as correspondentes umidades de solo.

Obs: Tensiômetro instalado a 10cm de profundidade.

TABELA 3 - Dados climáticos registrados durante a condução do experimento (06.09.79 a 27.11.79), no posto meteorológico de Bebedouro, Petrolina-Pe.

Dias	Setembro				Outubro				Novembro			
	P _{mm}	E _{mm}	t	UR	P _{mm}	E _{mm}	t	UR	P _{mm}	E _{mm}	t	UR
01	-	-	-	-	-	12,54	28,7	42	-	8,20	29,6	52
02	-	-	-	-	-	12,86	28,2	44	-	8,00	30,3	53
03	-	-	-	-	-	10,62	28,6	33	-	10,79	30,0	53
04	-	-	-	-	-	10,12	29,6	45	-	11,32	32,4	41
05	-	-	-	-	-	12,86	29,6	43	-	11,66	31,0	54
06	-	9,72	25,8	67	-	11,92	29,2	47	24,0	12,04	28,5	61
07	2,7	1,78	22,8	71	-	13,00	28,8	51	-	9,10	30,5	52
08	-	7,08	25,8	54	-	12,68	30,7	41	-	10,94	29,0	55
09	-	11,02	26,6	48	-	12,42	31,2	38	-	8,24	30,5	53
10	-	11,58	26,6	50	-	11,12	31,0	42	-	8,76	30,0	56
11	-	11,14	26,4	48	-	12,72	30,2	44	10,6	9,66	25,7	76
12	-	11,04	25,6	61	-	11,30	30,2	42	3,4	2,10	27,1	70
13	-	9,20	27,8	46	-	14,06	30,5	41	0,4	3,56	28,7	56
14	-	9,86	27,9	60	-	12,12	29,7	47	-	10,98	28,0	54
15	-	7,36	27,4	61	-	10,36	31,1	42	-	8,50	27,4	60
16	-	8,14	29,8	58	-	10,49	32,1	45	-	11,12	27,9	55
17	-	10,38	28,5	56	-	10,08	31,8	42	-	9,02	28,5	60
18	-	6,56	30,1	45	-	10,56	30,9	46	-	10,66	28,8	55
19	-	10,15	29,3	47	-	10,61	29,1	55	-	10,16	28,9	57
20	-	9,83	29,5	40	-	7,30	28,6	57	-	7,30	29,0	57
21	-	11,68	28,6	50	-	10,24	29,8	54	3,8	4,88	29,2	59
22	-	9,84	28,6	48	-	12,24	27,9	53	-	8,56	30,7	50
23	-	12,90	29,0	41	-	11,68	28,5	50	-	10,96	33,0	47
24	-	13,73	29,7	42	-	11,98	29,3	48	-	9,88	30,8	39
25	-	12,29	28,9	47	-	11,26	28,7	50	-	10,44	31,0	42
26	-	12,34	29,4	46	-	9,90	29,0	49	-	9,56	32,2	41
27	-	12,70	29,4	48	-	11,04	30,2	46	-	9,00	32,1	42
28	-	12,92	28,4	51	-	11,12	30,8	43	-	-	-	-
29	-	10,78	29,5	45	-	9,66	31,6	43	-	-	-	-
30	-	13,08	29,7	45	-	10,44	29,4	55	-	-	-	-
31	-	-	-	-	0,6	6,84	29,9	48	-	-	-	-

P_{mm}: Precipitação em mm ; E_{mm}: Evaporação do tanque classe A em mm
t : temperatura do ar em °C ; UR: Umidade relativa do ar (%)

TABELA 4 - Liberação média, diária e mensal, de água dos tratamentos, T₁, T₂ e T₃, em litros por cápsula, no período de 15.09.79 a 27.11.79.

Dias	T ₁ (H = 0,35m)			T ₂ (H = 0,50m)			T ₃ (H = 0,75m)		
	Set.	Out.	Nov.	Set.	Out.	Nov.	Set.	Out.	Nov.
01	-	3,99	4,62	-	4,76	5,10	-	5,40	5,57
02	-	4,58	4,56	-	4,54	5,06	-	5,29	5,50
03	-	4,18	4,52	-	4,83	4,94	-	4,92	5,56
04	-	4,11	4,64	-	4,63	5,03	-	5,15	5,66
05	-	4,29	4,40	-	4,98	4,85	-	5,50	5,46
06	-	4,18	4,02	-	4,86	4,43	-	5,49	5,02
07	-	4,38	4,19	-	4,60	4,58	-	5,41	5,15
08	-	4,88	4,16	-	4,72	4,52	-	5,40	5,11
09	-	4,53	4,32	-	5,02	4,79	-	5,45	5,36
10	-	4,41	4,29	-	4,95	4,68	-	5,59	5,27
11	-	4,66	4,01	-	5,19	4,44	-	5,66	5,01
12	-	4,78	4,11	-	5,23	4,35	-	5,59	4,81
13	-	4,59	3,89	-	5,42	4,31	-	5,70	4,80
14	-	4,45	3,85	-	5,15	4,29	-	5,62	4,78
15	4,12	4,81	3,92	4,92	5,27	4,32	5,60	5,82	4,89
16	3,78	4,95	4,03	4,87	5,44	4,48	5,69	5,77	5,03
17	3,72	4,86	4,08	4,72	5,29	4,36	5,54	5,85	5,00
18	3,63	4,72	4,02	4,77	5,29	4,33	5,49	5,83	5,00
19	4,23	4,60	4,03	4,96	5,16	4,38	5,65	5,63	5,06
20	4,31	4,61	4,10	5,01	5,19	4,44	5,66	5,54	5,09
21	4,30	4,66	3,93	4,90	5,21	4,22	5,68	5,69	4,88
22	4,21	4,56	4,15	4,87	5,20	4,49	5,62	5,50	5,12
23	4,10	4,65	4,05	4,92	5,14	4,46	5,73	5,48	5,13
24	4,16	4,51	4,19	4,83	5,03	4,56	5,64	5,49	5,18
25	4,22	4,49	4,12	4,86	5,05	4,54	5,58	5,51	5,13
26	3,96	4,48	4,19	4,89	4,94	4,48	5,48	5,46	5,19
27	3,99	4,64	4,01	4,86	5,11	4,37	5,48	5,67	5,04
28	4,05	4,63	-	4,82	5,21	-	5,32	5,65	-
29	4,04	4,48	-	4,77	5,11	-	5,36	5,55	-
30	4,03	4,47	-	4,88	5,01	-	5,43	5,46	-
31	-	4,85	-	-	5,22	-	-	5,59	-
Total	64,85	140,98	112,40	77,85	156,75	122,80	88,95	171,66	138,80
Média	4,05±0,15	4,54±0,17	4,16±0,16	4,86±0,05	5,05±0,18	4,54±0,19	5,55±0,10	5,53±0,14	5,14±0,18

TABELA SA - Distribuição do conteúdo de água, no solo, no tempo e espaço, ao redor das cápsulas porosas, em base a % de volume aos 21 dias após o plantio.

Tratamento ^a	Sub-Tratamento ^b	Profundidades de amostragem (cm)	Distância Horizontal desde o eixo vertical da cápsula			
			10	20	30	40
T ₁	P ₁	0 a 15	19,59	16,48	13,01	11,43
		15 a 30	21,46	18,48	17,43	16,58
		30 a 45	15,46	15,30	14,26	14,51
		45 a 60	15,21	14,14	14,06	14,90
	P ₃	0 a 15	18,71	15,86	12,33	11,41
		15 a 30	20,00	18,91	17,88	16,45
		30 a 45	18,54	17,70	15,98	13,87
		45 a 60	14,50	15,73	13,17	15,34
	P ₅	0 a 15	15,74	11,73	9,00	8,13
		15 a 30	19,77	17,53	15,69	12,58
		30 a 45	18,54	17,70	15,98	13,87
		45 a 60	14,50	15,73	13,17	15,34
T ₂	P ₁	0 a 15	19,35	14,46	11,32	7,54
		15 a 30	20,05	17,23	16,62	13,70
		30 a 45	17,43	15,52	15,93	14,13
		45 a 60	16,07	15,99	15,92	16,14
	P ₃	0 a 15	18,88	17,09	15,53	12,27
		15 a 30	20,08	18,59	17,45	15,30
		30 a 45	18,66	18,75	17,28	14,21
		45 a 60	14,87	14,42	14,05	14,27
	P ₅	0 a 15	20,09	18,45	16,70	14,84
		15 a 30	20,49	19,75	17,33	15,77
		30 a 45	18,82	16,21	16,10	15,73
		45 a 60	16,98	16,52	16,22	16,06
T ₃	P ₁	0 a 15	21,96	21,45	19,04	17,01
		15 a 30	19,64	19,27	18,36	16,57
		30 a 45	17,55	16,94	16,08	18,37
		45 a 60	17,69	17,69	17,11	17,04
	P ₃	0 a 15	19,16	16,66	11,64	7,33
		15 a 30	20,77	17,43	14,61	14,67
		30 a 45	15,47	15,30	15,28	15,33
		45 a 60	16,12	16,30	16,69	16,77
	P ₅	0 a 15	19,97	16,10	14,04	12,97
		15 a 30	20,23	18,72	17,91	16,70
		30 a 45	17,84	17,97	17,31	16,80
		45 a 60	14,89	14,73	14,37	14,29

^a T₁, T₂ e T₃ : Pressões de funcionamento do sistema, (ΔH); respectivamente, de 0,35; 0,50, e 0,75 m.

^b P₁, P₃ e P₅ : Populações de plantas/cápsula, respectivamente 1 : 7 e 13.

TABELA 5B - Distribuição do conteúdo de água, no solo, no tempo e espaço, ao redor das cápsulas porosas, em base a % de volume, aos 42 dias após o plantio.

Tratamento ^a	Sub-Tratamento ^b	Profundidades de Amostragem	Distância horizontal desde o eixo vertical da cápsula				
			10	20	30	40	
		(cm)	(cm)				
T ₁	P ₁	0 a 15	18,33	13,70	10,31	9,77	
		15 a 30	21,36	17,74	14,60	14,32	
		30 a 45	15,76	13,87	13,28	13,78	
		45 a 60	13,49	13,50	12,86	14,31	
	P ₃	0 a 15	14,23	11,74	11,96	8,74	
		15 a 30	16,72	16,57	13,84	12,12	
		30 a 45	16,52	15,83	15,18	13,33	
		45 a 60	13,60	14,76	13,69	14,86	
	P ₅	0 a 15	11,25	9,13	7,53	7,03	
		15 a 30	18,01	14,02	12,31	11,91	
		30 a 45	15,10	12,80	14,97	13,61	
		45 a 60	15,65	14,56	14,94	15,28	
	T ₂	P ₁	0 a 15	15,38	11,82	11,91	8,69
			15 a 30	18,31	17,26	15,75	14,33
			30 a 45	16,21	17,39	16,43	13,70
45 a 60			13,38	14,34	14,52	14,03	
P ₃		0 a 15	17,50	15,48	12,60	8,77	
		15 a 30	18,39	15,59	14,36	12,53	
		30 a 45	15,91	15,41	15,82	14,42	
		45 a 60	15,49	15,50	15,91	14,34	
P ₅		0 a 15	17,01	16,71	11,77	8,48	
		15 a 30	18,11	18,11	14,91	12,20	
		30 a 45	16,62	17,07	15,43	13,79	
		45 a 60	14,49	16,04	15,96	15,91	
T ₃		P ₁	0 a 15	20,19	19,35	18,60	17,09
			15 a 30	20,91	20,38	17,88	16,62
			30 a 45	18,40	16,83	16,53	17,46
	45 a 60		16,69	15,56	15,84	15,51	
	P ₃	0 a 15	16,63	12,68	7,38	6,54	
		15 a 30	19,51	14,57	14,23	13,31	
		30 a 45	15,04	14,10	13,89	14,75	
		45 a 60	15,24	15,44	15,20	15,16	
	P ₅	0 a 15	17,40	15,46	12,53	8,72	
		15 a 30	18,61	17,79	15,69	13,21	
		30 a 45	17,77	14,72	15,06	15,63	
		45 a 60	12,77	12,47	13,22	13,25	

^a T₁, T₂ e T₃ : Pressões de funcionamento do sistema (ΔH); respectivamente, de 0,35; 0,50, e 0,75 m.

^b P₁, P₃ e P₅ : Populações de plantas/cápsula, respectivamente 1 : 7 e 15.

TABELA 5C - Distribuição do conteúdo de água, no solo, no tempo e espaço, ao redor das cápsulas porosas, em base a % de volume, aos 83 dias após o plantio.

Tratamento ^a	Sub-Tratamento ^b	Profundidades de Amostragem	Distância horizontal desde o eixo vertical da cápsula			
			10	20	30	40
		(cm)				
T ₁	P ₁	0 a 15	16,10	12,09	9,63	6,67
		15 a 30	19,92	17,68	17,73	15,74
		30 a 45	16,50	15,33	15,42	13,63
		45 a 60	14,82	14,76	14,40	13,32
	P ₃	0 a 15	11,05	5,74	4,97	4,91
		15 a 30	16,45	14,41	10,62	10,39
		30 a 45	16,72	13,25	13,02	13,26
		45 a 60	13,61	13,24	14,30	13,19
	P ₅	0 a 15	4,92	4,87	5,13	4,87
		15 a 30	11,39	11,12	9,93	9,00
		30 a 45	13,97	13,90	13,74	13,31
		45 a 60	14,21	13,77	13,49	13,48
T ₂	P ₁	0 a 15	17,20	16,56	14,22	11,05
		15 a 30	19,66	19,26	16,22	14,51
		30 a 45	14,80	15,20	15,28	14,16
		45 a 60	15,07	15,39	15,50	15,07
	P ₃	0 a 15	14,55	9,68	5,79	4,92
		15 a 30	18,71	14,46	12,40	10,87
		30 a 45	16,64	15,53	12,16	11,63
		45 a 60	11,99	11,87	11,23	11,50
	P ₅	0 a 15	13,91	8,71	6,07	6,07
		15 a 30	17,10	15,59	9,50	9,20
		30 a 45	14,59	14,64	14,00	13,17
		45 a 60	13,09	13,22	13,25	13,17
T ₃	P ₁	0 a 15	18,56	18,35	16,97	12,30
		15 a 30	19,01	18,66	16,85	14,92
		30 a 45	17,23	15,01	14,66	13,42
		45 a 60	16,48	16,15	13,66	13,40
	P ₃	0 a 15	13,89	5,53	5,13	4,92
		15 a 30	15,16	12,10	10,79	9,11
		30 a 45	13,60	12,80	12,56	12,11
		45 a 60	14,48	13,46	12,38	12,15
	P ₅	0 a 15	12,33	7,53	5,54	4,90
		15 a 30	16,27	12,53	10,93	10,04
		30 a 45	12,72	11,22	12,02	11,76
		45 a 60	10,77	10,22	12,17	12,86

^a T₁, T₂ e T₃ : Pressões de funcionamento do sistema (ΔH), respectivamente, de 0,35; 0,50 e 0,75 m.

^b P₁, P₃ e P₅ : Populações de plantas/cápsula, respectivamente, 1; 7 e 13.

TABELA 6 - Registros dos potenciais matriciais diários, em atm, do solo para os tratamentos^a e sub-tratamentos^b durante o período de 3/10 a 28/11.

DIA	T ₁			T ₂			T ₃		
	P ₁	P ₃	P ₅	P ₁	P ₃	P ₅	P ₁	P ₃	P ₅
01 (3/10)	0,033	0,042	0,058	0,027	0,028	0,056	0,057	0,047	0,049
02	0,033	0,042	0,050	0,027	0,028	0,034	0,034	0,047	0,049
03	0,030	0,043	0,057	0,030	0,037	0,057	0,037	0,049	0,045
04	0,032	0,043	0,062	0,027	0,029	0,035	0,037	0,040	0,053
05	0,034	0,044	0,058	0,015	0,037	0,037	0,031	0,043	0,057
06	0,033	0,043	0,055	0,040	0,040	0,059	0,032	0,058	0,057
07	0,037	0,043	0,057	0,012	0,057	0,037	0,027	0,044	0,057
08	0,038	0,047	0,064	0,015	0,038	0,039	0,034	0,046	0,062
09	0,043	0,044	0,062	0,023	0,040	0,043	0,036	0,045	0,058
10	0,036	0,043	0,058	0,010	0,042	0,036	0,037	0,044	0,058
11	0,043	0,046	0,063	0,010	0,042	0,043	0,036	0,047	0,062
12	0,039	0,050	0,070	0,018	0,043	0,043	0,037	0,044	0,063
13	0,040	0,050	0,070	0,030	0,043	0,043	0,028	0,049	0,050
14	0,042	0,050	0,063	0,031	0,050	0,044	0,037	0,049	0,063
15	0,042	0,050	0,070	0,031	0,050	0,049	0,031	0,044	0,063
16	0,037	0,053	0,050	0,025	0,050	0,049	0,037	0,049	0,063
17	0,037	0,045	-	0,025	0,037	0,040	0,034	0,043	0,057
18	-	0,060	0,052	0,025	0,044	0,047	0,029	0,055	0,075
19	-	0,057	0,055	0,025	0,043	0,039	0,043	0,057	0,067
20	0,043	0,057	0,064	0,022	0,040	0,057	0,033	0,064	0,074
21	0,037	0,050	0,064	0,029	0,037	0,046	0,040	0,054	0,058
22	0,400	-	0,078	0,032	0,043	0,049	0,042	0,053	0,053
23	0,039	0,043	0,070	0,032	0,043	0,049	0,040	0,062	0,053
24	0,042	0,053	0,082	0,035	0,053	0,068	0,043	0,082	0,066
25	0,044	0,058	0,083	0,032	0,050	0,065	0,043	0,076	0,067
26	0,043	0,057	0,070	0,034	0,048	0,070	0,043	0,076	0,072
27	0,043	0,063	0,089	0,028	0,060	0,070	0,044	0,083	0,068
28	0,040	0,057	0,070	0,031	0,050	0,070	0,044	0,058	0,063
29	0,039	0,064	0,082	0,025	0,046	0,076	0,045	0,076	0,063
30 (1/11)	0,040	0,072	0,079	0,025	0,050	0,095	0,038	0,099	0,067
31	0,043	0,076	0,066	0,022	0,050	0,076	0,045	0,092	0,063
32	0,039	0,074	0,070	0,025	0,047	0,100	0,048	0,099	0,063
33	0,043	0,083	0,053	0,031	0,055	0,089	0,049	0,068	0,070
34	0,043	0,089	0,055	0,021	0,063	0,082	0,045	0,096	0,070
35	0,033	0,057	0,059	0,025	0,037	0,077	0,037	0,054	0,047
36	0,043	0,076	0,064	0,032	0,048	0,063	0,053	0,089	0,057
37	0,037	0,070	0,061	0,029	0,037	0,047	0,050	0,057	0,053
38	0,037	0,037	0,053	0,025	0,043	0,057	0,049	0,066	0,050
39	0,040	0,076	0,053	0,025	0,047	0,058	0,050	0,072	0,050
40	0,037	0,068	0,048	0,033	0,043	0,042	0,039	0,062	0,053
41	0,037	0,057	0,050	0,031	0,037	0,047	0,044	0,053	0,049
42	0,043	0,065	0,063	0,033	0,045	0,049	0,053	0,067	0,049
43	0,042	0,059	0,056	0,029	0,043	0,045	0,054	0,057	0,047
44	0,042	0,057	0,068	0,031	0,038	0,042	0,049	0,059	0,045
45	0,037	0,058	0,062	0,033	0,042	0,043	0,049	0,063	0,044
46	0,043	0,065	0,054	0,025	0,045	0,053	0,047	0,068	0,049
47	0,043	0,076	0,053	0,021	0,049	0,066	0,058	0,088	0,058
48	0,037	0,070	0,050	0,025	0,049	0,057	0,047	0,068	0,049
49	0,037	0,070	-	0,028	0,045	0,053	0,047	0,070	0,049
50	0,037	0,073	0,063	0,037	0,058	0,043	0,043	0,079	0,052
51	0,040	0,083	0,076	0,050	0,055	0,063	0,043	0,071	0,058
52	0,037	0,085	0,066	0,050	0,055	0,063	0,047	0,087	0,054
53	0,037	0,083	0,057	0,045	0,050	0,070	0,049	0,076	0,057
54	0,037	0,096	0,058	0,050	0,055	0,062	0,047	0,076	0,058
55	0,076	0,076	0,050	0,050	0,055	0,063	0,043	0,076	0,057
56	0,040	0,089	0,072	0,050	0,055	0,059	0,045	0,070	0,057
57 (28/11)	0,051	0,100	0,053	0,054	0,058	0,057	0,037	0,057	0,043

^a T₁, T₂ e T₃ : Pressões de funcionamento do sistema (B), respectivamente, de 0,35; 0,50 e 0,75 m.

^b P₁, P₃ e P₅ : Populações de plantas por cápsulas, respectivamente, 1, 7 e 13.

TABELA 7 - Valores das temperaturas máximas e mínimas do solo ($^{\circ}\text{C}$) em médias semanais, dos tratamentos (T_1 e T_3)^b, populações (P_5)^c e do solo (testemunha), obtidas nas profundidades de 15, 30 e 60cm.

Semana	Solo (Testemunha)						T_1 P_5						T_3 P_5					
	15		30		60		15		30		60		15		30		60	
	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
1 ^a	33,5	25,0	29,4	25,8	28,2	27,0	32,5	25,5	31,6	28,0	30,4	28,8	30,7	22,6	27,9	24,2	27,8	26,0
2	34,8	27,4	30,4	27,3	29,8	28,5	32,3	26,9	31,2	28,1	30,7	29,3	30,8	24,0	28,2	25,0	28,7	27,2
3	34,8	27,4	31,1	27,8	30,7	29,2	32,3	27,5	31,7	28,8	31,5	29,8	30,7	24,6	28,5	24,5	29,3	27,8
4	34,8	27,0	31,3	27,4	30,6	29,3	31,1	27,0	30,6	28,5	30,8	29,4	30,9	24,4	28,5	25,5	29,4	27,9
5	35,5	26,7	31,4	27,0	30,3	29,0	32,7	28,8	32,0	29,5	31,9	29,8	29,9	24,1	27,6	25,1	28,6	27,0
6	36,7	27,0	31,3	26,5	30,1	28,8	32,8	29,6	32,3	30,4	32,5	30,8	31,3	26,6	29,7	27,1	31,0	29,0
7	34,4	26,4	30,9	27,1	30,4	28,8	31,8	28,8	31,5	29,4	31,8	30,2	29,1	24,9	27,9	25,6	29,5	28,0
8	33,6	29,5	33,4	30,0	33,8	31,1	37,0	29,2	33,4	29,3	32,7	31,0	28,2	24,4	27,0	25,1	28,4	27,0
9	36,6	25,5	32,1	26,4	30,9	29,4	31,9	29,0	31,7	29,0	32,5	30,7	29,1	24,9	27,8	25,8	29,8	28,3
10	31,1	23,2	28,7	23,9	29,0	23,1	29,4	26,1	28,4	26,6	29,3	28,2	25,1	21,7	25,8	24,1	26,5	25,3
11	35,5	25,2	31,1	25,5	29,1	27,9	32,1	28,7	31,6	29,1	30,6	29,1	28,9	24,6	29,7	27,2	29,0	27,0

^a Semana representada pela média dos dias 15 e 16/9/79

^b T_1 e T_3 : Pressão de funcionamento de sistema (ΔH), respectivamente, de 0,35 e 0,75m.

^c P_5 : População de 13 plantas de milho por cápsula porosa.

A P Ê N D I C E - I I

TABELA 1. Liberação média diária de água (ℓ) por bloco e por tratamento, durante o período de 15/9/79 a 27/11/79.

Tratamentos	B l o c o s			Média ¹
	B-I	B-II	B-III	
T ₁ (ΔH = 0,35m)	4,44	4,31	4,17	4,30 a
T ₂ (ΔH = 0,50m)	5,06	4,67	4,75	4,83 b
T ₃ (ΔH = 0,75m)	5,71	5,12	5,37	5,40 c
Média	5,07	4,70	4,76	

Análise da Variância

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadro Médio	F
Bloco	2	0,23	0,11	
Tratamento	2	1,794	0,879	58,09**
Equação Linear	1	1,793	1,793	119,53**
Equação Quadrática	1	0,001	0,001	<1
Erro	4	0,062	0,015	
Total Geral	8	2,086		

CV = 2,0%

DMS = 0,36

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

¹ As médias seguidas de letras iguais na mesma coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

TABELA 2 - Altura média das plantas do milho e inserção das espigas nos tratamentos e populações aos 24, 34, 44, 54, 64, 74 e 83 dias após o plantio.

Tratamento ^a e Populações ^b	Altura média em (cm) nos dias após o plantio							Altura média da inserção das espigas em (cm) aos 83 dias após o plantio.
	24	34	44	54	64	74	83	
T ₁ P ₁	29,6	65,0	114,0	181,6	199,0	202,0	202,6	99,9
T ₁ P ₂	31,0	64,0	110,6	173,3	178,0	182,3	182,6	80,6
T ₁ P ₃	33,3	71,6	110,6	166,1	174,1	175,6	175,6	82,3
T ₁ P ₄	31,0	66,0	98,3	150,0	169,1	172,6	174,3	74,6
T ₁ P ₅	30,0	59,3	93,8	134,0	153,3	158,0	158,6	70,2
T ₂ P ₁	31,6	79,0	116,6	159,8	196,6	199,6	201,0	97,8
T ₂ P ₂	33,6	75,0	119,8	174,1	184,0	187,3	189,3	80,5
T ₂ P ₃	35,0	65,0	114,0	158,3	182,6	185,6	186,0	82,7
T ₂ P ₄	28,3	64,6	99,8	131,1	172,5	175,6	176,6	68,9
T ₂ P ₅	34,0	59,3	102,8	155,0	176,6	179,0	179,3	72,4
T ₃ P ₁	32,0	68,3	113,5	163,0	210,6	214,0	215,6	97,8
T ₃ P ₂	32,6	67,0	118,6	158,5	181,3	181,3	186,6	90,5
T ₃ P ₃	34,0	66,6	113,0	169,3	182,3	195,6	196,6	90,2
T ₃ P ₄	35,6	72,3	104,0	146,8	167,5	172,5	172,8	78,8
T ₃ P ₅	41,3	67,3	105,4	149,1	167,0	170,5	171,6	75,5

^a T₁, T₂ e T₃ : Pressões de funcionamento do sistema (ΔH), respectivamente, de 0,35; 0,50 e 0,75 m.

^b P₁, P₂, P₃, P₄ e P₅ : Populações de plantas/cápsula, respectivamente, 1; 4,7,10 e 13.

TABELA 3. Altura média¹ das plantas de milho, irrigado por por cápsula por rosa, aos 83 dias após o plantio nos diferentes blocos, tratamentos^b, bem como o resumo da análise da variância de seus valores.

Tratamento (T ₁)	B l o c o s			Média
	I	II	III	
P ₁	208	206	194	202
P ₂	186	181	181	182
P ₃	183	165	181	175
P ₄	173	171	179	174
P ₅	144	170	162	158
Média	178	178	179	178
Tratamento (T ₂)				
P ₁	199	199	205	201
P ₂	174	174	220	189
P ₃	163	197	199	186
P ₄	185	181	164	176
P ₅	173	166	199	179
Média	180	183	197	186
Tratamento (T ₃)				
P ₁	206	228	213	215
P ₂	193	198	169	186
P ₃	174	182	234	196
P ₄	169	162	187	172
P ₅	159	185	173	171
Média	180	190	195	188

Análise da Variância

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F
Bloco	2	982,8	491,4	
Tratamento	2	808,53	404,27	2,94NS
Erro (a)	4	549,86	137,46	
População	4	7.197,55	1.799,39	7,42**
Equação Linear	1	6.468,54	6.468,54	26,68**
Equação Quadrática	1	243,05	243,05	1,0 NS
Equação Cúbica	1	157,37	157,37	0,64NS
Equação Quártica	1	328,61	328,61	1,35NS
População x Tratamento	8	986,57	123,32	0,508NS
Erro (b)	24	5.816,66	242,36	
Total Geral	44	16.341,97		

CV = 8%

DSM = 21,63

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

NS = Não significativo

^a T₁, T₂ e T₃ : Pressão de funcionamento do sistema (ΔH) respectivamente de 0,35; 0,50 e 0,75m.

^b P₁, P₂, P₃, P₄ e P₅ : Populações de plantas/cápsula, respectivamente, 1; 4; 7; 10 e 13.

¹Alturas das plantas de cinco cápsulas p/ sub-tratamento.

TABELA 4. Altura média¹ das inserções das espigas de milho, irrigado por cápsula porosa, nos diferentes blocos, tratamentos^a e sub-tratamentos^b; bem como o resumo da análise da variância de seus valores.

Tratamento (T ₁)	B l o c o s			Média
	I	II	III	
P ₁	91,0	103,7	105,2	99,9
P ₂	53,6	81,4	76,8	80,6
P ₃	83,8	74,4	88,8	82,3
P ₄	71,6	72,6	79,8	74,6
P ₅	56,2	87,0	65,4	70,2
Média	77,6	83,8	83,2	81,5

Tratamento (T ₂)				
P ₁	101,6	101,2	90,6	97,8
P ₂	79,0	74,0	88,6	80,5
P ₃	76,6	84,8	86,6	82,6
P ₄	70,2	79,4	57,2	68,9
P ₅	72,0	73,0	72,4	72,4
Média	79,8	82,4	79,0	80,4

Tratamento (T ₃)				
P ₁	95,0	105,0	93,5	97,8
P ₂	94,0	95,6	82,0	90,5
P ₃	78,2	95,0	97,4	90,2
P ₄	72,6	82,2	81,6	78,8
P ₅	67,5	89,0	70,0	75,5
Média	81,5	93,4	84,9	86,6

Análise da Variância

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F
Bloco	2	361,47	180,74	
Tratamento	2	317,40	158,70	3,94NS
Erro (a)	4	160,97	40,24	
População	4	3.874,59	968,65	15,97**
Equação Linear	1	3.390,51	3.390,51	55,90**
Equação Quadrática	1	132,48	132,48	2,18NS
Equação Cúbica	1	35,72	35,72	0,58NS
Equação Quártica	1	315,88	315,88	5,20*
População x Tratamento	8	198,99	24,87	0,41NS
Erro (b)	24	1.455,57	60,65	
Total Geral	44	6.368,99		

CV = 9%

DMS = 10,82

NS = Não Significativo

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

^a T₁, T₂ e T₃ : Pressão de funcionamento do sistema (H) respectivamente de 0,35; 0,50 e 0,75m.

^b P₁, P₂, P₃, P₄ e P₅ : Populações de plantas/cápsula, respectivamente, 1; 4; 7; 10 e 13.

¹Alturas das inserções das espigas de cinco cápsula p/sub-tratamento.

TABELA 5. Produção média¹ de grãos de milhos por cápsula porosa para os diferentes blocos, tratamentos^a e sub-tratamentos^b; bem como o resumo da análise da variância de seus valores.

Tratamento (T ₁)	Blocos			Média
	I	II	III	
P ₁	284,6	336,6	245,2	288,80
P ₂	562,8	533,8	680,6	592,40
P ₃	951,6	723,6	838,0	837,73
P ₄	881,4	682,6	806,0	790,00
P ₅	608,4	810,2	566,6	661,73
Média	657,8	617,4	627,3	634,13

Tratamento (T ₂)				
P ₁	205,2	284,4	287,0	258,86
P ₂	607,8	815,2	990,0	804,33
P ₃	689,2	993,2	807,0	829,80
P ₄	827,4	752,2	619,2	732,93
P ₅	820,0	851,6	752,2	807,93
Média	629,9	739,3	691,0	686,77

Tratamento (T ₃)				
P ₁	188,0	205,4	265,6	219,66
P ₂	475,2	626,2	523,6	541,66
P ₃	709,8	976,6	1.060,8	915,73
P ₄	515,2	853,6	1.045,2	904,73
P ₅	802,8	883,8	943,4	876,66
Média	598,2	709,1	767,7	691,67

Análise da Variância

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F
Bloco 2	2	40.479,18	20.239,59	
Tratamento	2	30.533,32	15.266,66	0,89 NS
Erro (a)	4	68.137,21	17.034,30	
População	4	2.165.458,09	541.364,52	49,52**
Equação Linear	1	1.330.206,78	1.330.206,78	121,69**
Equação Quadrática	1	780.310,50	780.310,50	73,38**
Equação Cúbica	1	36.072,04	36.072,04	3,30NS
Equação Quártica	1	18.868,77	18.868,77	1,73NS
População x Tratamento	8	224.886,04	28.110,75	2,57*
Erro (b)	24	262.352,38	10.931,35	
Total Geral	44	2.791.846,22		

CV = 15,51

DMS = 125,851

NS = Não Significativo

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

^a T₁, T₂ e T₃ : Pressão de funcionamento do sistema (ΔH), respectivamente de 0,35; 0,50 e 0,75m.

^b P₁, P₂, P₃, P₄ e P₅ : Populações de plantas/cápsula, respectivamente, 1; 4; 7; 10 e 13.

¹ Produção de cinco cápsulas p/ sub-tratamento.