
**III SEMINÁRIO NACIONAL
DE
IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**

**ANAIS
VOLUME III**

**GRUPO I
TECNOLOGIA**

**GRUPO II
TECNOLOGIA**



MINTER/DNOCS - ABID

**III SEMINÁRIO NACIONAL DE
IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**

**ANAIS
VOLUME III**

**GRUPO I
TECNOLOGIA**

**GRUPO II
TECNOLOGIA**

MINTER/DNOCS - ABID



UFRGS

SABi



05088661

I P H

SERV. DOCUMENTAÇÃO
E BIBLIOTECA

DATA

10/03/78

NÚMERO

6907

**TEMA IV
TECNOLOGIA
GRUPO 1.**

**PRESIDENTE
JOSÉ BARRIOS**

**SECRETÁRIO
ENRIQUE MATUTE**

**RELATOR
JOSÉ MATIAS FILHO.**

SUMÁRIO

1 – MEDIÇÃO DA UMIDADE DO SOLO PARA DETERMINAÇÃO DAS NECESSIDADES DE ÁREAS DOS CULTIVOS IRRIGADOS. LUIZ ARNALDO JALFIM LEITE	1
2 – CAPACIDADE DE CAMPO E RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO A BAIXAS TENSÕES, COM ESTRUTURA DEFORMADA E NÃO DEFORMADA. AFRANIO ALMIR RIGHES CLÓVIS LEMOS VEIGA	8
3 – EFEITO DA ENERGIA ADVECTIVA SOBRE ÁREAS CULTIVADAS. JOANILDO PEREIRA DE ARAÚJO OCTÁVIO PESSOA ARAGÃO	16
4 – IRRIGAÇÃO GOTA-A-GOTA. MANOEL FELIPE DA MOTA VIEIRA	18
5 – PERSPECTIVAS DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO EM SÃO PAULO. DIRCEU BRASIL VIEIRA	31
6 – IRRIGAÇÃO POR GOTEJO EM POMELO: DADOS PRELIMINARES. ANTONIO FERNANDO OLITTA CELIO S. MOREIRA	34
7 – EVAPOTRANSPIRAÇÃO – MEDIDA DIRETA E A DETERMINAÇÃO INDIRETA POR MÉTODOS DE BALANÇO ENERGÉTICO E AERODINÂMICOS VIRGILIO MARQUES DE LIMA ROCHA	38
8 – MODELAMENTO DO FENÔMENO DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO. PEDRO GUERREIRO	60
9 – INSTRUÇÕES PARA UTILIZAÇÃO DO TANQUE CLASSE "A" EM ESTIMATIVAS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL REAL E FREQUÊNCIA DE IRRIGAÇÃO. NILSON AUGUSTO VILLA NOVA JOSÉ CARLOS OMETTO	65
10 – EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM PHASEOLUS VULGARIS, L. ESTIMADA POR EVAPORÍMETROS E FÓRMULAS EMPÍRICAS. MARIA DE JESUS NOGUEIRA AGUIAR JESUS MARDEN DOS SANTOS KLAUS REICHART	75
11 – EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR NO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO. OCTÁVIO PESSOA ARAGÃO	85

12 – RELAÇÕES ENTRE A EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL DA ALFAFA (MEDICAGO SATIVA) E GRAMA (SPENOTAPHURUM SACUNDATUM) COM TANQUES CLASSE "A" SOB DIFERENTES EX-POSIÇÕES. OCTÁVIO PESSOA ARAGÃO JOANILDO PEREIRA DE ARAÚJO	92
13 – ESTUDO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO NA CULTURA DE ALGODOEIRO HERBÁCEO. JOSÉ FURTADO DA SILVA WANDERLEY C.R. MENDES	96
14 – ESTUDO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM BANANEIRA, CULTIVAR NANICÃO. JOSÉ FURTADO DA SILVA WANDERLEY C. R. MENDES EDIVALDO SOBRAL DE GOES	102
15 – EFEITOS DE NÍVEIS DE UMIDADE NA PRODUÇÃO DA CEBOLA. JOSÉ FERREIRA DA COSTA FILHO HUGO O. CARVALHO FRANCISCO O. DE SOUSA DON C. KIDMAN	109
16 – DETERMINAÇÃO DO USO CONSUMITIVO DA CEBOLA E TOMATE PELO MÉTODO GRAVIMÉ-TRICO EMPÍRICO. FRANCISCO O. DE SOUSA MOACIR ALVES DA SILVA DON C. KIDMAN	111
17 – USO CONSUNTIVO DA ÁGUA EM CULTURA DE MILHO, NA BAIXADA FLUMINENSE. EVANDRO FERRAZ DUARTE ALUIZIO TEIXEIRA DA SILVA	112
18 – IRRIGAÇÃO DA CEBOLA JOSÉ FURTADO DA SILVA JOSÉ TAVARES DE ARAÚJO	113
19 – DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE "K" PARA A CULTURA DA CEBOLA. ZENON ALENCAR OLIVEIRA JOSÉ TAVARES DE ARAÚJO WANDERLEY C. R. MENDES	120
20 – NECESSIDADES HÍDRICAS DA CULTURA DA BERINJELA (SOLANUM MELONGENA - L.) DIRCEU BRASIL VIEIRA	129
21 – TOXIDEZ DO BAYLUSCIDA PARA PEIXES E MOLUSCOS DE ÁGUA DOCE HÉLIO AUGUSTO REZENDE DE MELO JOSÉ JARBAS STURDART GUERGEL	133
22 – NECESSIDADE EM ÁGUA POR CULTURA DE ARROZ EM CONDIÇÕES DE SEQUEIRO. O. BRUNICI R.M. ALFONSI J.M. SANTOS A. A. ORTOLANI M.J. PEDRO JR. L.R. ANGELOCI	139
23 – EFEITO DE NÍVEIS DE UMIDADE NA PRODUÇÃO DA VIDEIRA EDSON LUSTOSA DE POSSÍDIO EDVALDO SOBRAL DE GOES A. A. MILLAR	145
24 – IRRIGAÇÃO POR INUNDAÇÃO PERMANENTE E PERIÓDICA NA CULTURA DO ARROZ. JOSÉ FURTADO DA SILVA JOSÉ TAVARES DE ARAÚJO	152

GRUPO I - TECNOLOGIA

MEDIÇÃO DA UMIDADE DO SOLO PARA DETERMINAÇÃO DAS NECESSIDADES DE ÁGUA DOS CULTIVOS IRRIGADOS

Eng^o Luiz Arnaldo Jalfim Leite *

INTRODUÇÃO

As necessidades de água dos cultivos irrigados são usualmente estimadas através de métodos meteorológicos ou da medição da umidade e ou sucção do solo.

Segundo Haise e Hagan, (1967) o método meteorológico requer o conhecimento de:

- a) Valores de evapotranspiração em curtos períodos e em várias etapas do desenvolvimento do cultivo;
- b) Características de retenção de umidade do solo;
- c) Deficit de umidade admissível em relação à demanda evaporativa;
- d) Profundidade “efetiva” do sistema radicular.

A evapotranspiração é geralmente estimada por meio de equações calibradas que a correlacionam com variáveis tais como temperatura, umidade relativa, radiação solar, etc, o que implica na existência de estação meteorológica capaz de fornecer esses dados com a precisão adequada. Os demais itens são estimados ou determinados para as condições locais com base em dados estabelecidos para condições semelhantes ou por meio de amostragem do solo e procedimento experimental. A obtenção de resultados consistentes através do método meteorológico, depende do grau de confiabilidade que se possa associar a cada um dos fatores citados.

A medição periódica do teor de umidade e/ou sucção a várias profundidades do perfil permite conhecer o “status” da água no solo em que a planta se desenvolve. Como a resposta dos cultivos à irrigação é melhor correlacionada com o potencial solo-água que com a fração da umidade disponível, o primeiro determina quando irrigar e o teor de umidade é usado para o balanço hídrico do solo. A variação do teor de umidade durante um determinado intervalo deve-se à evapotranspiração, à precipitação “efetiva” e à água que drena da zona radicular (percolação profunda). O conhecimento da evolução do padrão de extração de umidade ao longo do perfil do solo durante o desenvolvimento do cultivo permite estimar a profundidade que deve ser umedecida a cada irrigação, assim como a determinação de uma profundidade “efetiva” do sistema radicular.

A despeito das muitas possibilidades que o método oferece no campo da pesquisa, parece não ter ampla utilização no Brasil. O aspecto destrutivo para o local pela retirada periódica de amostras ou as deficiências dos instrumentos para a determinação de umidade “in situ” ou ainda a dificuldade na coleta e tratamento das leituras obtidas em várias instalações dispersas no campo são os principais obstáculos para sua utilização.

OBJETIVO

Este trabalho apresenta uma metodologia para processamento de leituras de quatro aparelhos para medição de umidade e sucção do solo, por meio de um programa em linguagem BASIC, o qual integra para as várias camadas do solo o deficit de água em relação à capacidade de campo, a taxa diária de variação da água retida na zona radicular, a água disponível em relação a tensão admissível e a água necessária para trazer o perfil do solo à “capacidade de campo”. O objetivo principal é, por meio do programa, facilitar a utilização do método da medição da umidade para a determinação das necessidades de água dos cultivos irrigados.

MATERIAIS E MÉTODOS

O programa processa diretamente as leituras de sucção em bars (obtidas mediante tensiômetro e/ou aquapot), resistência elétrica em ohms (blocos de gesso) e intensidade de corrente elétrica em microampères (unidades de fibra de vidro), convertendo-as em teor de umidade (% volume), através de equações ajustadas à curva de tensões/umidade e às curvas de calibração dos instrumentos para o solo, em que são utilizados.

A curva de tensão/umidade foi determinada por meio de membrana de pressão (Coleman e Marsh, 1961) e placa de sucção (Cronley, Coleman e Bridge, 1952).

* M. Sc — Engenharia de Irrigação. Universidade de Southampton — Inglaterra; Professor do CCT-UFPB, Campina Grande - Paraíba.

A curva de calibração do bloco cilíndrico de gesso (Pereira, 1951) foi determinada em laboratório, efetuando-se correção resistência/temperatura (Slater e Bryant, 1946).

A curva de calibração da unidade de fibra de vidro (Colman e Hendrix, 1949) foi determinada segundo instruções do fabricante (Soil Moisture Equipment Company, Cat 60, 1964).

O aquapot utilizado (Peck e Rabbidge, 1968) permite medições de 0 a -20 atmosferas e é fabricado por N.I.C. Instrument Company. O tensiômetro utilizado é do tipo comercial, fabricado por Soil Moisture Equipment Company (Cat. nº 2700-B).

Extensa revisão bibliográfica sobre o método da resistência elétrica foi apresentada por Rocha, V. M. L. (1971). Avaliação do tensiômetro, aquapot, bloco de gesso e unidade de fibra de vidro submetidos a vários ciclos de secagem e umedecimento foi efetuada pelo autor (Leite, L. A. J., 1973).

As curvas obtidas em laboratório (tensão/umidade e calibração), foram ajustadas equações pelo método dos quadrados mínimos através de programa em linguagem Fortran.

DESCRIÇÃO DO PROGRAMA E RESULTADOS

O fluxograma e a descrição do programa para processamento das leituras são apresentadas respectivamente na Figura 1 e Apêndice 1.

Os resultados fornecidos pelo programa para dois exemplos são mostrados na Figura 2.

SUMÁRIO E CONCLUSÕES

A medição periódica do teor de umidade e/ou tensão a várias profundidades do perfil fornece o "status" de água no solo em que a planta se desenvolve, permitindo estimar a necessidade de água do cultivo, assim como a determinação de importantes fatores da interação solo-água-planta.

O balanço da água no solo é feito através da umidade e a tensão determina quando irrigar. A variação do teor de umidade da zona radicular é consequência do balanço precipitação "efetiva", menos drenagem (percolação profunda), menos evapotranspiração, possibilitando a determinação da necessidade de água no final do intervalo considerado. O método não requer dados meteorológicos e sua aplicação pode ser bastante facilitada pelo processamento por computador das leituras de instrumentos para medição da umidade "in situ".

Considerando que muitas vezes é usado mais de um tipo de instrumento, o programa apresentado neste trabalho processa leituras de quatro tipos de aparelhos, em conjunto ou isoladamente (tensiômetro, aquapot, bloco de gesso e unidade de fibra de vidro).

O programa admite o desenvolvimento do sistema radicular linear em relação ao tempo e que o solo à frente se encontra em "capacidade de campo". Para duas medições do perfil do solo efetuadas com o intervalo desejado, o programa:

- a) calcula os teores de umidade do solo nas profundidades a que estão colocados os instrumentos;
- b) tomando as umidades encontradas na segunda medição, calcula: o "deficit de água (mm) em relação à "capacidade de campo"; a lâmina disponível (mm) em relação à tensão admissível;
- c) tomando as umidades encontradas na primeira e segunda medição, calcula a taxa média de extração de água (mm/dia) do perfil no período entre as duas medições.

O fluxograma e a descrição do programa são apresentados respectivamente na Figura 1 e Apêndice 1.

Os resultados fornecidos pelo computador para dois conjuntos de dados de leituras (exemplos) são apresentados no Quadro 2.

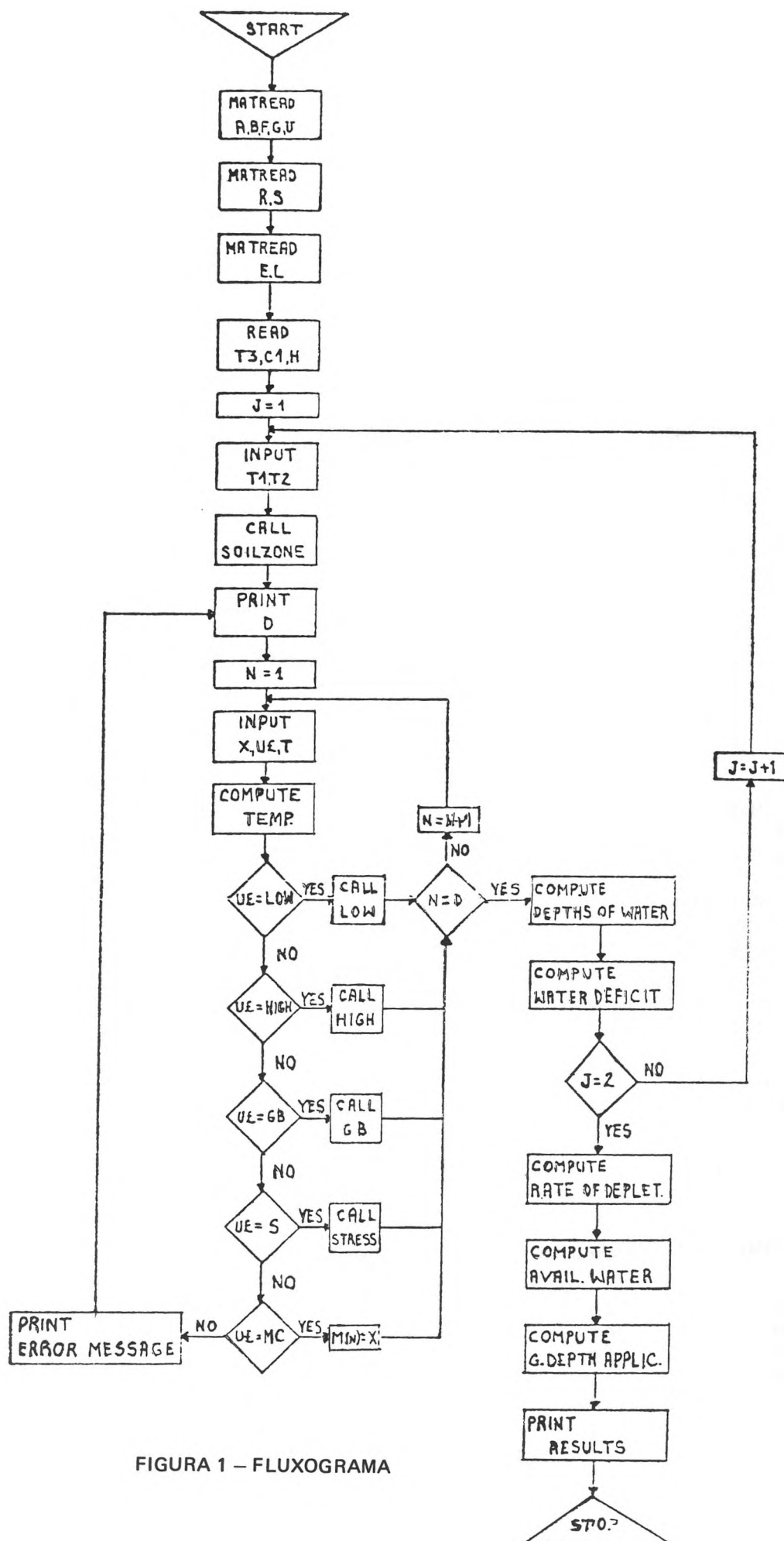


FIGURA 1 – FLUXOGRAMA

3300 BASIC HEADY

:START

:LOAD

:RUN

INPUT1

770,4

D =5

7180, "HIGH", 145

718500, "GB", 70

7.25, "S", 9

7.2, "S", 9

7145, "LOV", 145

INPUT1

772,6

D=5

730, "HIGH", 145

723000, "GB", 70

7.45, "S", 9

7.25, "S", 9

7140, "LOV", 145

DEPTH(M)	ATDEF(MM)	RATDEP(MM/DAY)	AVAT(MM)	GDA(MM)
.10	4.42	1.46	.00	5.53
.30	10.13	4.00	1.51	12.66
.50	12.97	5.05	6.43	16.21
.90	14.45	5.79	20.47	18.07
1.23	14.84	6.05	32.89	18.56

:
:
:
:
:
:
:

: RERUN130

INPUT1

7100.4

D = 5

7180, "HIGH", 145

718500, "GB", 70

7.25, "S", 9

7.2, "S", 9

7145, "LO", 145

INPUT1

7103,7

D = 5

730, "HIGH", 145

723000, "GB", 70

7.45, "S", 9

7.25, "S", 9

7140, "LO" 145

DEPTH(M)	ATDEF(MM)	RATDEP(MM/DAY)	AVAT(MM)	GDA(MM)
.10	4.42	.97	1.00	5.53
.30	10.13	2.67	6.14	12.66
.50	12.97	3.36	14.16	16.21
.90	14.45	3.86	34.38	18.07
1.50	15.16	4.17	66.24	18.95

APÊNDIX 1 – DESCRIÇÃO DO PROGRAMA

1. Dados armazenados no Programa

a) referentes aos instrumentos e solo:

Matrizes A, B, F, G e V: Compostas dos Coeficientes do Polinômio

$$F(X) = C_1 + C_2 X + C_3 X^2 + C_4 X^3 + C_5 X^4 + C_6 X^5.$$

Quando se tratar por exemplo, do bloco de gesso, faz-se $MATC = MAT G$

MATRIZ A = refere-se à umidade de fibra de vidro. X é a leitura em microampares tomada na “low scale” e F(X) é a resistência em Ohms correspondente.

MATRIZ B = idem, leitura tomada na “high scale”.

MATRIZ F = unidade de fibra de vidro, X é a resistência calculada e F(X) umidade.

MATRIZ G = bloco de gesso, X é a resistência lida e F(X) umidade.

MATRIZ V = tensão/umidade, X e sucção (pF) e F(X) umidade.

MATRIZES R.S.: Coeficientes da equação para correção resistencia/temperatura da unidade da fibra de vidro, retirados do manual do instrumento.

b) Referentes ao cultivo, profundidades medidas e eficiência de irrigação:

MATRIZES E e L:

MATRIZ E = Composta de três valores de tensão: a) máxima admissível para alta demanda evaporativa; b) idem para baixa dem. ev.; c) correspondente à “capacidade de campo”.

MATRIZ L = Profundidade do 1º instrumento à superfície e distância entre os demais.

T3 = tempo (dias) para o sistema radicular atingir a máxima profundidade.

C1 = taxa diária de desenvolvimento do sistema radicular.

H = eficiência de irrigação.

2. Processamento:

j = 1 primeira medição

T₁ e T₂ = tempo decorrido desde o plantio e desde a última irrigação respectivamente (dados)

SOILZONE – escolhe entre duas, a tensão admissível em função de T₁ e T₃, calcula a profundidade a ser medida e o número de instrumentos a serem lidos, calcula as umidades correspondentes à tensão admissível e à capacidade de campo.

D = número de instrumentos a serem lidos

n = 1 – refere-se à leitura do 1º instrumento

X = leitura do instrumento (dado)

V = indica o tipo de instrumento (dado)

T = temperatura ou leitura tomada na escala de temperatura do medidor da umidade de fibra de vidro, para correção da resistência (dado).

U = LOW, HIGH, GB, S ou MC – identifica o tipo de instrumento em que X foi lido; respectivamente umidade de fibra de vidro (low e high scale), bloco de gesso, sucção (tensiômetro ou aquapot) e teor de umidade (MC) diretamente se conhecido.

CALL LOW, HIGH, GB, STRESS – Calcula o teor de umidade corresponde a X, de acordo com o tipo de leitura.

n = D Verifica se já foram processadas todas as leituras.

COMPUTE DEPTHS OF WATER: – Calcula lâminas acumuladas, desde a primeira à última camada.

$$W(n) = \sum_{n=1}^{n=D} M(n) \times L(n); \text{ perfil na umidade atual}$$

$$O(n) = \sum_{n=1}^D U.C. \times L(n); \text{ perfil à umidade crítica}$$

$$U(n) = \sum_{n=1}^{n=D} C.C. \times L(n); \text{ perfil em "capacidade de campo"}. \quad n=1$$

COMPUTE WATER DEFICIT: Calcula o déficit de água acumulado em relação à capacidade de campo;

$$Q(j, n) = U(n) - W(n)$$

J = 2 — Verifica se já foram processadas as duas medições.

COMPUTE RATE OF DEPLETION: Calcula a taxa diária, acumulada por camada, da extração de água:

$$H(n) = \frac{Q(2, n) - Q(1, n)}{t}$$

t = intervalo (dias entre as 2 medições),

COMPUTE AVAILABLE WATER: Calcula a lâmina disponível em relação à tensão admissível:

$$P(n) = W(n) - O(n)$$

COMPUTE G. DEPTH APLIC = Calcula a lâmina necessária para trazer o perfil a capacidade de campo até a camada n, admitindo uma eficiência de irrigação H.

$$G(n) = \frac{Q(2, n)}{H}$$

BIBLIOGRAFIA CITADA

Coleman e Marsh (1961) — "An investigation of the pressure membrane method for measuring the suction property of soils". Journal of Soil Science, Vol. 12. pp. 343-62.

Colman e Hendrix (1949) — "The fiberglass electrical soil-moisture instrument". Soil Science, Vol. 67, pp. 425-38

Croney, Coleman e Bridge (1952) — "The suction of moisture held in soils and other porous materials". Road Research Technical Paper No 24-HMSO

Haise e Hagan (1967) — "Soil, Plant, and Evaporative Measurements as Criteria for Scheduling Irrigation", seção IX — "Predicting Irrigation Needs", in Irrigation of Agricultural Lands, A.S.A., pp 577-604.

Leite, L.A.J. (1973) — "Soil Moisture Measurement for Irrigation Scheduling". Dissertação apresentada à Universidade de Southampton como parte dos requisitos para obtenção do título de "Master of Science" em Engenharia de Irrigação.

N.I.C. Instrument Company — "Aquapot Assembly and Auxiliary Equipment". MM5-1-70. Victoria, Australia.

Peck e Rabbidge (1968) — "Direct Measurement of Moisture Potential: a New Technique". Apresentado no Simpósio "Water in the Unsaturated Zone". Editado, por Rijtema e Wassink. I.A.S.H. e UNESCO.

Rocha, V.M.L. (1971) — "O método da resistência elétrica na determinação da Umidade do solo "in situ". "Anais do II Seminário de Irrigação. SUDESUL, Porto Alegre, pp 285-318.

Soil Moisture Equipment Company — “Instrumentos para medição da umidade do solo”. Santa Bárbara, Califórnia. EEUU.

Slater e Bryant (1946) — “Comparison of four methods of soil moisture measurement”. Soil Science, Vol. 61, pp 131-55.

CAPACIDADE DE CAMPO E RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO A BAIXAS TENSÕES, COM ESTRUTURA DEFORMADA E NÃO DEFORMADA

Afranio Almir Righes *
Clóvis Lemos Veiga **

INTRODUÇÃO

O solo e a água são os recursos fundamentais na exploração agrícola. O crescente aumento populacional provocou uma expansão das áreas agrícolas. Visando o aumento na produção de alimentos conseqüentemente tais recursos tornam-se insuficientes em muitas partes do mundo. A necessidade de manejar e explorar eficientemente o trinômio SOLO-ÁGUA-PLANTA, transformou-se em uma das mais importantes tarefas agrônômicas de nosso tempo.

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de fornecer subsídios ao estudo do sistema SOLO-ÁGUA, relacionando à retenção de água no solo, a baixas tensões, com estrutura deformada e não deformada aos valores de capacidade de campo obtidos pelo método direto.

Muitos trabalhos foram realizados procurando estudar as relações entre solo e água, com o objetivo de realizar o adequado manejo das culturas para atingir a máxima potencialidade genética das variedades, GAVANDE (5), estudando as relações entre conteúdo de água do solo e a tensão a que esta está retida, concluiu que as diferentes capacidades de retenção de água são atribuídas as variações nas percentagens de argila, silte, areia fina e matéria orgânica.

A capacidade de retenção de água pelo solo pode muitas vezes ser avaliada em função da textura KAWANO & HOLMES (8), afirmam que em alguns Latossolos, Oxissolos e Ultissolos, embora apresentassem textura argilosa, o comportamento hídrico era semelhante aos dados solos de textura arenosa para baixas tensões. Resultados semelhantes foram encontrados por SHARMA & UEHARA (15), onde afirmam que a água liberada a baixas tensões está associada com espaços porosos entre os agregados do solo. Em condições de altas tensões, a água é retida pelos espaços porosos dentro dos agregados.

Cada solo tem características próprias em fornecer água a um determinado potencial e por outro lado cada planta tem propriedades próprias em absorver água de um solo a um dado potencial. O estudo desses extremos é de fundamental importância na determinação da disponibilidade de água para as plantas. O limite superior da água disponível para as plantas, é ainda hoje considerado com todas as limitações como "Capacidade de Campo". Segundo HILLEL (6), a capacidade de campo é uma medida arbitrária porquanto não se pode determinar quando a redistribuição da água no solo cessa, ou seu regime torna-se insignificante.

Muitos trabalhos foram desenvolvidos em laboratório procurando simular a tensão à qual é submetida a água no solo durante o processo de drenagem em condições de campo, usando placas porosas com pressão (panela de pressão), mesa de tensão e outros. Existem algumas divergências em torno de que tensão deve ser aplicada para obter a capacidade de campo por métodos indiretos.

MARSHAL (10), para se obter a capacidade de campo por métodos indiretos, propôs a tensão de uma coluna de 100 cm de água usando amostras com estrutura não deformada. COLMAN, RICHARDS & WEAVER, citados por KRAMER (9), recomendam uma tensão de 0,3 bares para amostras com estruturas deformadas. Segundo DAKER (4), a capacidade de campo tem sido determinada em laboratório, usando uma tensão de 0,1 atmosfera para solos de textura arenosa e 1,3 de atmosfera para solos de textura média argilosa.

MATERIAL E MÉTODOS

1. Solo:

Para realizar o presente trabalho, foram selecionados com base no "Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul" (3), duas unidades de mapeamento pertencentes a diferentes classes texturais:

- a) Unidade de mapeamento EREXIM (Latossol roxo distrófico);
- b) Unidade de mapeamento SÃO PEDRO (Podzólico vermelho amarelo distrófico).

* Eng^o Agr^o M. Sc. em SOLOS. Prof. Assistente no Dept^o de Engenharia Agrícola e Florestal. Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Rural da U.F.S.M. Santa Maria-RS.

** Eng^o Agro^o Prof. Assistente no Dept^o de Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria - RS.

No quadro 1, são apresentadas algumas características dos solos pertencente as unidades acima referidas.

QUADRO 1: Dados físicos e algumas características dos solos da unidade de mapeamento Erexim e São Pedro/RS

Determinações (%)	Unidade de Mapeamento	
	Erexim ¹	São Pedro ²
	horiz. A ₁ (0-15 cm)	horiz. A _{1p} (0-17 cm)
Areia grossa	2	24
Areia fina	1	38
Silte (0,05)	23	28
Argila	74	10
Argila natural	41	4
Grau de flocculação	44	60
(%) Silte	0,31	2,8
(%) Argila		
Substrato	basalto	arenito
Estrutura	granular	blocos sub-angulares
Textura	argilosa	franco arenosa

1 - Perfil modal descrito pela Divisão de Pedologia e Fertilidade do Solo, Ministério da Agricultura (3)

2 - Caracterização físico-hídrica de um perfil da unidade São Pedro (12)

As amostras foram coletadas com quatro repetições em solo não cultivados na parte média da camada superficial de 0-15 cm de profundidade. A coleta de amostras com estrutura não deformada, para as determinações de água a 1/10; 1/15; 1/3; 2/3 e 1 atm, foi realizada em anéis de plástico com 5 cm de diâmetro e 2 cm de altura com corte bisel em um dos lados. Foram utilizadas estas dimensões para que fosse possível o uso desses anéis diretamente no aparelho de placas porosas (pâneta de pressão). Os anéis eram introduzidos no solo usando-se um batedor semelhante ao usado para o anel de KOPECK. As amostras assim coletadas foram acondicionadas em caixas de isopor, para manter a umidade atual e transportadas ao laboratório onde imediatamente eram realizadas as determinações. Paralelamente foram coletadas amostras com o cilindro de UHLAND (com estrutura não deformada para determinar a microporosidade. Considerou-se amostra de solo com estrutura deformada aquela que após a secagem ao ar passou por tamis com abertura de malha de 2 mm.

3. Determinações:

Em cada unidade de mapeamento estudada foram realizadas as seguintes determinações:

3.1. Capacidade de Campo — determinada pelo método direto “in situ” segundo técnica de OLIVEIRA e MELO (13).

3.2. Retenção de Água no Solo nas Tensões: 1/10; 1/5; 1/3; e 1 Atmosfera — determinado no aparelho de placas porosas (penela de pressão) segundo o método sugerido pelo U.S. SALINITY — LABORATORY (16).

3.3. Equivalente a Umidade Determinado pelo Método da Centrífuga. Segundo BARRETO (1).

3.4. Microporosidade — determinado pelo método da mesa de tensão, (usando uma tensão equivalente a uma coluna de água de 60 cm), segundo LEAMER & SHAW descrito por OLIVEIRA (14).

3.5. Densidade do Solo (aparente) pelo método da parafina descrito por BLAKE (2).

3.6. Densidade de Partículas do Solo — método do balão volumétrico usando álcool etílico segundo I.Q.A. (7).

3.7 Porosidade Total calculada pela fórmula:

$$(\% \text{ volume}) = 100 - \frac{100 \cdot D_s}{D_p} \quad \text{onde:}$$

D_s = densidade do solo (aparente) e D_p = densidade de partícula do solo.

3.8 Macroporosidade — Calculada pela fórmula:

Macroporos (%) = Porosidade total (%) — Microporos (%).

3.9 Matéria Orgânica — Determinada pelo método de combustão úmida com bicromato de sódio e ácido sulfúrico. A matéria orgânica é oxidada e reduz o bicromato, alterando a coloração do meio que é medido pelo colorímetro segundo descrição de MIELNICZUK et alii. (11).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise da variância da percentagem de água retida pelo solo para as unidades de mapeamento "São Pedro e Erexim", são apresentados no quadro nº 2.

QUADRO 2: Análise da variância da percentagem de água expressa em volume para as unidades de mapeamento "São Pedro e Erexim" - RS.

Causas de variação	GL	Solo São Pedro		Solo Erexim	
		quadrados médios	F	quadrados médios	F
Tratamentos	12	77,7920	13,06*	125,2659	41,96
Resíduo	39	5,9529		2,9851	
Total	51	--		--	
Coefficiente variação		12,0		4,6	

* Diferenças significativas ($p \leq 0,05$)

**Diferenças muito significativas ($p \leq 0,01$)

NS Não significativo

Pelos resultados da análise da variância, pode-se constatar que houve diferenças significativas e muito significativas em função dos tratamentos testados para os solos em estudo.

No quadro 3, são apresentados os resultados em valores médios dos diferentes tratamentos e as respectivas diferenças significativas pelo teste de TUKEY ($p \leq 0,05$).

QUADRO 3 – Percentagem de água em função dos tratamentos em solo da unidade de mapeamento “Erexim e São Pedro”, com estrutura não deformada e deformada (valores em % volumes, médias de quatro repetições)

TRATAMENTOS			Unid. de map. Erexim				Unid. de map. São Pedro			
			Estrutura				Estrutura			
			N/Deformada		Deformada		N/Deformada		Deformada	
T	1/10	atm	42.16	b	37.89	c *	22.21	b	27.72	a *
E	1/5	atm	37.77	c	36.28	c NS	22.20	b	27.56	a *
N	1/3	atm	36.78	c	33.76	d *	20.32	b	17.46	b NS
S	2/3	atm	33.23	d	33.27	d NS	20.25	b	16.07	c *
Ø	1	atm	29.59	e	28.10	e NS	18.89	b	11.34	c *
E										
S										
MICROPOROSIDADE			47.36	a	- - - -		22.60	b	- - - -	
Eq. Unidade			- - -		38.45	b -	- - -		17.47	b -
Capacidade de campo			45.08	a	- - - -		20.77	b	- - -	

Médias seguidas por letras iguais não apresentam diferenças significativas pelo teste de TUKEY (p 0,05).

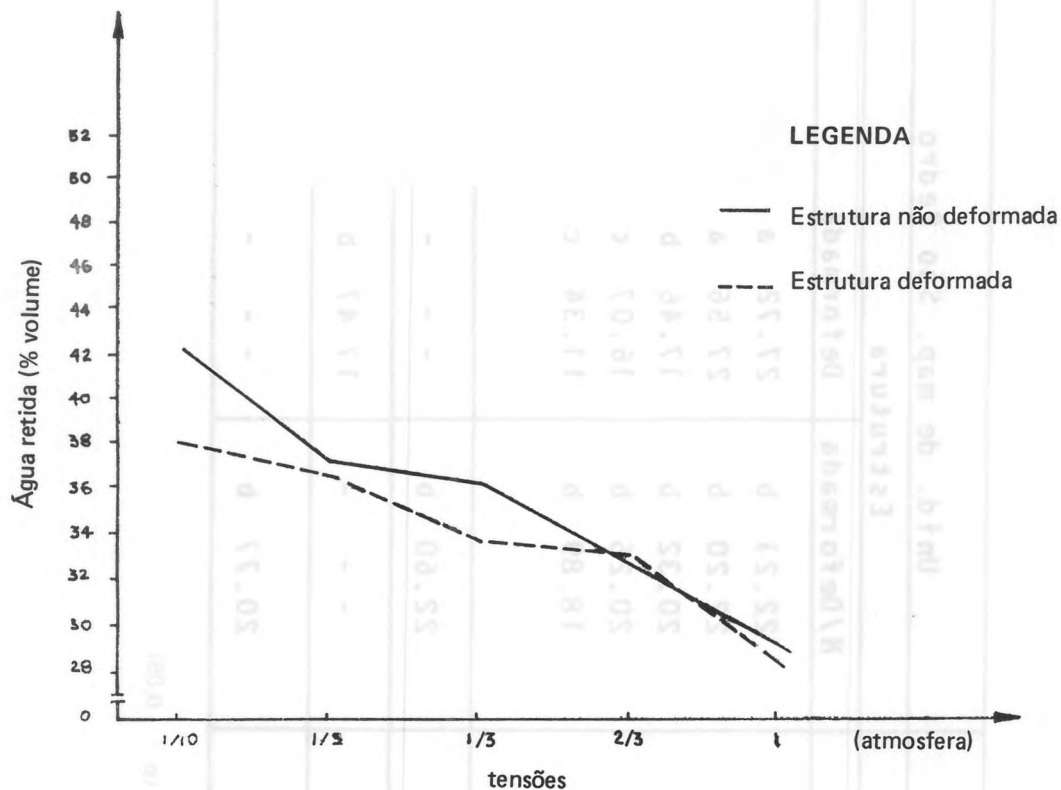


FIGURA 1 — Curvas de desorção - unidade de mapeamento "Erexim" (Profundidade 0 - 15 cm).

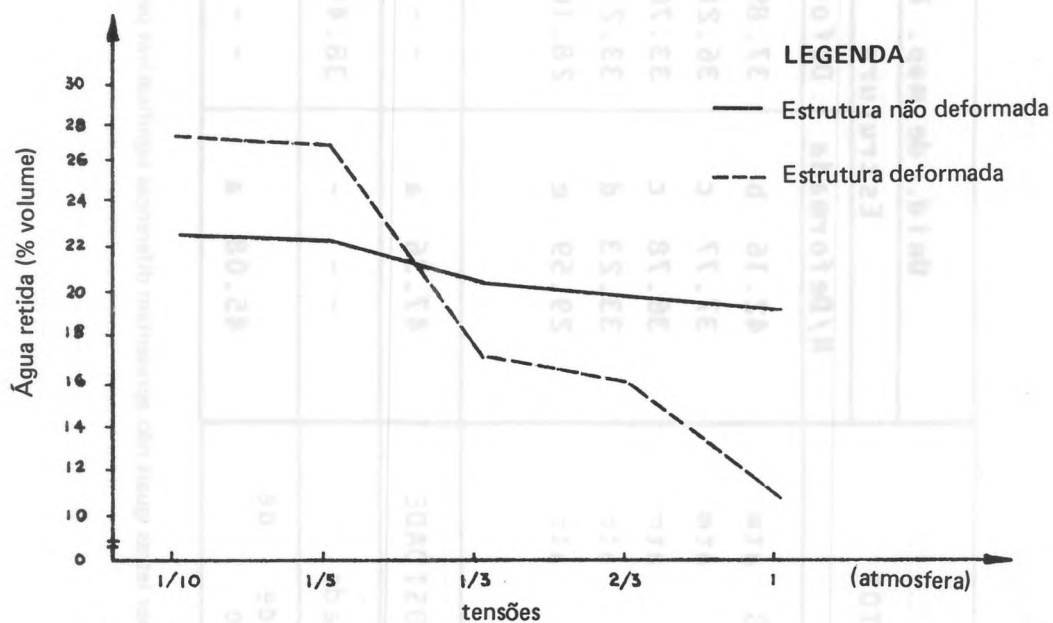


FIGURA 2 — Curvas de desorção - unidade de mapeamento "São Pedro" (Profundidade 0 - 15 cm).

Analisando os resultados do quadro 3, verifica-se que para a unidade de mapeamento "Erexim", os valores médios de umidade retida nas tensões de 1/5 e 1/3 de atmosfera, não diferem entre si, quando a estrutura do solo não era deformada. Uma vez deformada a estrutura, verifica-se estatisticamente que existe diferenças significativas. Segundo SHARMA & UHEARA (15), a liberação de água do solo a baixas tensões, está relacionada aos espaços porosos existentes entre os agregados do solo, que no presente caso foram destruídos ou reduzidos ao passar pela peneira no processo de preparação da amostra para as análises físicas (TFSA).

No solo Erexim textura argilosa, constata-se que até a tensão de 1/3 de atmosfera com estrutura não deformada reteve mais água do que com estrutura deformada. No solo São Pedro, textura franca arenosa verificou-se o inverso. Nas tensões de 1/10 e 1/5 de atmosfera o solo com estrutura deformada reteve mais água do que com estrutura não deformada. Este comportamento está diretamente ligado às características genéticas dos solos. O solo Erexim apresenta-se muito bem estruturado o que evidencia-se pelos baixos valores de densidade aparente ($0,95 \text{ g/cm}^3$) e alta microporosidade, que quando destruída reduziu a capacidade em reter água. Já para o solo São Pedro, franco arenoso com uma microporosidade de 22,60% e uma densidade aparente de $1,54 \text{ g/cm}^3$, quando a estrutura natural foi deformada, possivelmente tenha ocorrido um aumento na porosidade o que proporcionou um aumento na capacidade de retenção de água nas tensões de 1/10 e 1/5 de atmosfera. Para as tensões de 1/3 a 1 atmosfera, com estrutura não deformada, reteve mais água do que com estrutura deformada, o que pode-se atribuir a redução dos espaços porosos entre os agregados do solo (15).

Analisando os resultados de capacidade de campo relacionados com as diferentes tensões, microporosidades e equivalente de umidade, verifica-se que para o solo Erexim, não há diferenças significativas entre capacidade de campo e microporosidade.

No solo estudado, verificou-se que a umidade a 1/3 de atmosfera não pode ser usada como método indireto para avaliar a capacidade de campo, conforme evidencia-se pelo teste de TUKEY no quadro 3. Segundo DAKER (4), obtém-se a capacidade de campo por métodos indiretos usando-se uma tensão de 1/3 de atmosfera, para solos de textura média a argilosa. Esta afirmação não foi confirmada.

QUADRO 4 – VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE, POROSIDADE E PERCENTAGEM DE MATÉRIA ORGÂNICA

Determinações	Unidades de Mapeamento	
	Erexim	São Pedro
Densidade Aparente (g/cm^3)	0,95	1,54
Densidade de Partículas (g/cm^3)	2,65	2,62
Porosidade Total (% vol.)	64,15	41,22
Microporosidade (% vol.)	47,36	22,60
Macroporosidade (% vol.)	16,79	18,62
Matéria Orgânica (%)	4,0	3,8

No quadro, 4, verifica-se que o solo Erexim apresenta sessenta e quatro por cento de porosidade total, resultado este obtido em função da baixa densidade aparente visto que os valores de densidade de partículas são praticamente iguais.

A alta capacidade de retenção de água no solo Erexim quando em capacidade de campo está relacionada aos altos valores de microporosidade em relação à macroporosidade.

No solo São Pedro, comparando-se os valores de umidade retida por diferentes tensões com a capacidade de campo, com estrutura não deformada, não foram constatadas diferenças significativas, quando analisadas pelo teste de TUKEY. Entretanto observando-se o quadro 3, verifica-se que o valor mais próximo da capacidade de campo foi aquele obtido a 1/3 de atmosfera. O mesmo não aconteceu quando este solo foi analisado com estrutura deformada. O valor médio da umidade retida a 1/3 de atmosfera, foi o único que não diferiu significativamente, quando comparado com a capacidade de campo.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nas condições em que foi desenvolvido o trabalho, permitem concluir:

- 1 — A capacidade de retenção de água a baixas tensões nos dois solos estudados, também está relacionada com a estrutura.
- 2 — Em ambos os solos a capacidade de campo pode ser avaliada indiretamente pela microporosidade.
- 3 — No solo Erexim, a retenção de água 1/10 e 1/3 de atmosfera foi reduzida pela deformação da estrutura.
- 4 — O efeito da deformação da estrutura no solo São Pedro provocou um aumento na capacidade de retenção de água a 1/10 e 1/5 de atmosfera decrescendo gradativamente acima destas tensões.
- 5 — No solo São Pedro o valor que mais se aproxima da capacidade de campo, foi a retenção de água a 1/3 de atmosfera.

LISTA BIBLIOGRÁFICA

- 1 — BARRETO, G. B. Constantes de umidade do solo, In: **Elementos de Irrigação**. São Paulo, Agronomia "CERES", 1957. Cap. 1 p. 21-22.
- 2 — BLAKE, G. R. Bulk Density, In: Black C. A. ed. **Methods of soil analysis**. Madison American Society of Agronomy nº 9, 1965. Part 1 chap 30: 374-7.
- 3 — BRASIL Ministério da Agricultura. Dep. de Pesq. Agrop. Div. de pesq. pedol. . Levantamento de reconhecimento de solos do Estado do Rio Grande do Sul. Recife. **Bol. Téc. 30**, (6) p. 73-79, 1973.
- 4 — DAKER, A. Irrigação e Drenagem, In: **Água na Agricultura**. 3. ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1970. V 3. p. 74-75.
- 5 — GRAVANDE, S. A. Water retention characteristics of some Costa Rica soils. **Turrialba**, Turrialba, IICA, 1968 18 (1): 34-18.
- 6 — HILLEL D **Solo e Água, fenômenos e princípios físicos**. Porto Alegre, Faculdade de Agronomia e Veterinária, Departamento de Solos, 1970. 231 p.
- 7 — INSTITUTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA — Métodos de análise de solos. **Bol. Téc. nº 11**. Inst. Quim. Agric. Rio de Janeiro, 1949.
- 8 — KAWANO, Y. & HOLMES, W. E. Compaction tests as means of soil structure evaluation. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** Madison, American Society of Agronomy. 1958. 22: 369-71.
- 9 — KRAMER, P. J., **Plant & soil water relationships: a modern synthesis**. chap. 2. 1º ed. Mc-Graw-Hill Book Company. New York, 1969 p. 46-71.
- 10 — MARSHALL, T. J. Relations between water and soil. Comm. nº 50, Commonwealth. Bureau of soils, Harpenden. England.
- 11 — MIELNICZUC, J. et. alii. Recomendações de adubo e calcário para solos e culturas do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. UFRGS, Faculdade de Agronomia e Veterinária, Deptº de Solos e Hidrologia, 1969. **Boletim Técnico nº 2**.
- 12 — OLIVEIRA, L. B. de et alii. Caracterização físico-hídrica de um perfil de solo da unidade São Pedro-Podzólico vermelho amarelo. **Anais do 14º Congresso Brasileiro de Ciências do Solo**; Santa Maria, RS. 1974, Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: 72-84.
- 13 — OLIVEIRA, L. B. de & MELO, V. de Caracterização físico-hídrica do solo. I Unidade Itapirema. **Pesq. Agropec. Bras.** 5: 35-48, Rio de Janeiro. 1970.
- 14 — OLIVEIRA, L. B. de. Determinação da Macro e Microporosidade pela "mesa de tensão" em amostras de solos com estrutura indeformada. **Pesq. Agropec. Bras.**, Rio de Janeiro, D.P.E.A. Ministério da Agricultura, **3**; 197-200. 1968.

- 15 — SHARMA, M. L. &UEHARA, G. Influence of soil structure on water relations in Low. Humic. Latosols:
1 Water retention. **Soil Sci. Soc. Amerc. Proc.**, Madison, American Society of Agronomy, 1968. v. 32:
765-70.
- 16 — U. S. SALINITY LABORATORY STAFF DIAGNOSIS and improvement of saline and alkali soils. U. S.
Dep. Agric. Hand. Book 60 Washington. 1946.

EFEITO DA ENERGIA ADVECTIVA SOBRE ÁREAS CULTIVADAS

Joanildo Pereira de Araújo *
Octávio Pessoa Aragão **

SUMÁRIO

A Evapotranspiração (ET) dos cultivos, na região do Sub-Médio São Francisco, fica subordinada, no período quente e seco do ano, ao efeito de energia advectiva, proveniente do meio circundante.

As estimativas da ET, baseadas em evaporação, não possibilitam avaliar acuradamente o uso da água pelas plantas em região árida, quando os meios circundantes do tanque de evaporação e de pontos distintos de extensos cultivos, estão obrigatoriamente sob diferentes formas de exposição. As variações do gradiente horizontal de temperatura, da umidade e da energia advectiva sobre os cultivos, são também responsáveis pela imprecisão do uso de formas empíricas.

Trabalhos em execução no Projeto de Irrigação de Mandacaru — CODEVASF — têm medido as variações da energia advectiva sobre diferentes pontos da área cultivada, obtendo-se coeficientes para correção das determinações realizadas em pequenas parcelas experimentais.

O trabalho consiste em medições da Evaporação do tanque Classe A-USWB, situado em contato direto com o meio árido e em pontos ao longo do cultivo, distando da bordadura árida 0, 1, 4, 16, 64 e 256 metros.

Revisão bibliográfica

Angus 1963, relatou que a aplicação do "Bowen ratio" pode conduzir a erros, quando existe gradiente horizontal de temperatura ou umidade. Constatou que ocorreu, sob uma velocidade do vento 15 m/seg. gradiente sobre as plantas situadas a 200 m. da bordadura sem vegetação verde. Em Israel, Stanhill 1961, encontrou influência do efeito da energia advectiva sobre as plantas situadas a 100 m. da bordadura. Dados coletados por Van Bavel e Fritschen encontraram que no Arizona, durante um período de baixa velocidade do vento ($1 \text{ a } 2 \text{ m/seg}^{+1}$), o efeito da bordadura sobre um solo umedecido e desnudo não ultrapassou a 1 m. Hudson 1963, observou no Sudão que ventos quentes provenientes de áreas desérticas, ao passar sobre uma cultura situada em uma faixa estreita do aluvião do rio Nilo, tornam-se mais frios e mais úmidos. Salienta que ocorre uma rápida alteração de umidade e temperatura do ar ao penetrar nos primeiros 60 m.; e depois este efeito vai diminuindo gradativamente até aos 190 m. dos bordos. Abdel — Azis, Taylor e Ashcroft 1964, determinaram em Utah, que a taxa média de transpiração calculada pela equação de Penman (1953) correspondeu somente a 73% da ET de um campo de alfafa irrigado. Monteith 1964, mostra que nas culturas em região árida, as taxas de transpiração freqüentemente excedem a 4 mm/dia e a resistência do cultivo aumenta com a transpiração.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho está sendo realizado na área do Projeto de Irrigação de Mandacaru — CODEVASF — no Município de Juazeiro, Estado da Bahia.

A área é constituída de solo Vertissolo de textura bastante pesada, com pH variando de 7,3 a 8,5 e profundidade média de 1,50 m.

Utiliza-se, para medições de demanda evaporativa, tanques de evaporação Classe A-USWB, situados em contato direto com o meio árido e em pontos ao longo do cultivo, distando da bordadura árida de 0, 1, 4, 16, 64 e 256 metros. As primeiras leituras foram realizadas em períodos de 3 dias para o solo com cobertura ao redor de 25-30% pelo tomateiro industrial Rossol e, diariamente, quando o mesmo encontrava-se sem vegetação, mas suficientemente umedecido por meio de irrigações diárias. A complementação deste trabalho levará em conta a área com máxima cobertura vegetal e condições ótimas de umidade no solo.

As informações de umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento, evaporação do tanque com bordadura gramada (Et s/bordadura gramada), durante o período das observações, são obtidos na Estação Meteorológica da CODEVASF, que encontra-se circundada pelo Projeto de Mandacaru.

* Agronomando da Faculdade de Agronomia do Médio São Francisco - Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco — CODEVASF.

** Engº Agrº, M. S. em Irrigação, — Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco — CODEVASF.

BIBLIOGRAFIA

- 1 — ABDEL - Azis, Taylor and Ashcroft, G. L. 1964 — Agron. pp 56, 139. Cited in 6.
- 2 — ANGUS, D. T. 1963 — The influence of meteorological and soil factors on the rate of evapotranspiration of a crop, Univ. of California — cited in 4.
- 3 — BAVEL, V. and Fritschem — cited in 4.
- 4 — HAGAN, Robert M. et all 1967 — Irrigation of Agricultural Lands. pp 503, 504. Wiscosin, American Society of Agronomy.
- 5 — HUDSON. F. P. 1963 — Variations in Evaporations Rates Univ. of Khartoum, Dept^o of Horticulture, March.
- 6 — MONTEITH, J. L. 1964 — Evaporation and Environment pp 230-232. Society for Experimental Biology. Cambridge University Press.
- 7 — STANHILL, G. 1961 — cited in 4.

IRRIGAÇÃO GOTA-A-GOTA

Manuel Felipe da Mota Vieira *

HISTÓRICO

Sendo a mais perfeita e sofisticada forma de irrigação agrícola, a "gota-a-gota" ("goutte-a-goutte", "drip" ou "trickle irrigation") não é nova no seu princípio e — passe o termo — é o "ovo de Colombo" em problemas de irrigação.

Há notícias de ensaios deste tipo de irrigação na RÚSSIA (Galina Savek), em 1900, e, em 1903, na ALEMANHA e FRANÇA.

Em 1960, M. S. Blass, em ISRAEL, começou a por em prática os resultados anteriormente conseguidos; e, em 1964, iniciaram-se as primeiras montagens de carácter permanente e comercial, já sem grandes preocupações com os problemas de investigação.

Hoje, por todo o mundo, há mais de um milhão de hectares irrigados por "gota-a-gota", principalmente com pomicultura, vinicultura e horticultura, beneficiando-se de um perfeito funcionamento do processo e com resultados económicos e técnicos altamente satisfatórios. Os sistemas aplicados são fornecidos e montados por uma escassa meia dúzia de firmas, comerciais e técnicas, de irrigação agrícola: francesas (uma delas com o alvará israelense de M. S. Blass), australiana, inglesa, americanas e, agora, brasileira.

O PROCESSO

Na sua concepção actual, a "gota-a-gota" é um processo de irrigação localizada, que distribui a água de rega num máximo de pontos do terreno, fornecida em quantidades inferiores à capacidade do campo e repartida no solo útil radicular, principalmente por fenómenos capilares, formando um bulbo de absorção.

As dimensões desse bulbo dependem, sobretudo, dos seguintes factores:

- a) Estrutura e textura do solo;
- b) Fluxo do gotejador;
- c) Frequência da aplicação.

Pingando de fonte puntiforme, a água emitida por cada gotejador forma um disco, que pouco a pouco vai crescendo radialmente para os lados e para baixo. Nos solos mais pesados, o alastramento é maior do que nos solos mais leves ou pedregosos (em certos solos, quase não se dá qualquer movimento lateral) e quanto maior o fluxo do gotejador, mais largo, também, o alastramento do bulbo.

A distância entre os gotejadores dependerá da forma e dimensão do bulbo, que deve tornar-se contínuo e homogêneo ao longo da linha de plantação, pois múltiplos ensaios agrícolas demonstram que as raízes absorventes das plantas têm a faculdade de se concentrarem rapidamente nas zonas regularmente úmidas, e que um só terço dessas raízes ativas (as que procuram as zonas úmidas) assegura 80% da necessária alimentação, em água, das plantas.

Por outro lado, é absolutamente necessário calcular a rega em função da evapotranspiração e das necessárias relações entre as horas de rega e de repouso (para reconstituição do oxigénio do solo).

Um dos principais problemas da irrigação gota-a-gota de pomares e hortas consiste em decidir se é suficiente um conduto porta-gotejadores por fila de plantas ou se serão precisos dois (ou, mesmo, três). O número de condutos por fila irá determinar o preço do sistema por unidade de área e, em muitos casos, a rentabilidade do processo em si. É, por isso, importante conhecer e compreender a forma de distribuição da água dos gotejadores de diferentes fluxos, em diversos tipos de solo. É importante este conhecimento básico; não, porém, suficiente. Os ensaios de campo, com diferentes culturas, em várias condições de solo, é que permitem completar a informação.

* Engenheiro Técnico Agrário "Regente Agrícola" — Angola Diretor Técnico da AGROTEC.

OS CÁLCULOS

O comprimento das diferentes secções da tubulação porta-gotejadores (tubulação terciária) depende, evidentemente, do calibre do tubo escolhido, do fluxo dos gotejadores e da distância entre estes.

É fundamental, porque disso depende o bom funcionamento de todo o sistema, que a diferença de pressão entre o primeiro gotejador e o último de cada seção da tubulação terciária não exceda nunca 1 (UM) metro/manométrico. Tal diferença de pressão corresponde, geralmente, a 10% de queda de fluxo; em "gota-a-gota", porém, a queda reduz-se para 6,5%.

Em terrenos planos, estes cálculos são facilmente determinados.

Em declives ou socacos, deverá proceder-se às adições ou subtrações das perdas de carga recuperadas ou perdidas pelo desnivelamento.

Os cálculos de fornecimento de água em irrigação gota-a-gota podem, assim, resumir-se (para o caso de 1 conduto terciário por fila) nas seguintes etapas:

- a) A área de rega pertencente a cada gotejador é igual à distância entre as filas de plantas (vãos) multiplicada pela distância entre gotejadores na tubulação terciária:
Ex: 6 m entre vãos x 1 m entre gotejadores = 6 m²;
- b) Determinação do fluxo do gotejador:
Ex: 4 l/h;
- c) Precipitação:
Ex: $\frac{4 \text{ l/h}}{6 \text{ m}^2} = 0,667 \text{ mm/h}$
- d) Necessidades de precipitação mensal:
Ex: 120 mm;
- e) Duração da rega mensal:
Ex: $\frac{120 \text{ mm}}{0,667 \text{ mm/h}} = 180 \text{ h}$
- f) Necessidades de precipitação diária:
Ex: $\frac{120 \text{ mm/mês}}{30 \text{ d}} = 4 \text{ mm}$
- g) Duração da rega diária:
Ex: $\frac{4 \text{ mm}}{0,667 \text{ mm/h}} = 6 \text{ h}$
- h) Número total de gotejadores:
Ex: $n_g = \frac{S \text{ (superfície a regar)}}{s \text{ (superfície útil/gotejador)}}$

VANTAGENS E LIMITES DA "GOTA-A-GOTA"

O essencial da irrigação gota-a-gota é o fato de fornecer, com frequência regular e localizada, a água exatamente necessária a uma planta, durante todo o seu período vegetativo, sem fazer perigar, por carência ou asfixia, o solo irrigado.

As vantagens do processo são:

- Grande economia de água (cerca de 50% em relação à irrigação por aspersão);
- Aumento do rendimento e qualidade do produto;
- Possibilidade de fertilização localizada;
- Grande economia de mão-de-obra, podendo chegar à completa automatização;
- Economia de energia;
- Economia nos produtos de tratamento fitossanitários;
- Possibilidade de executar, durante a rega, outros trabalhos culturais.

As vantagens da "gota-a-gota" são únicas e eventualmente as provenientes do relativamente elevado custo de instalação quando a plantação a irrigar apresenta grande densidade de plantas, ou quando o produto agrícola obtido tem valor comercial pouco compensador.

DESCRIÇÃO DO SISTEMA "GOTA-A-GOTA"/"AGROTEC"

ESTAÇÃO DE FILTRAGEM "AGROTEC"

A estação de filtragem pode ser (ou não) complementada com misturador de adubos e pré-filtros de gravilha (contra fungos, algas, etc.) ou "de ciclone" (contra areias em suspensão). Estes filtros especiais, bem como o misturador de adubos, encontram-se à venda no mercado, de vários fabricantes.

Uma estação de filtragem "AGROTEC" normalmente é composta por:

- 1 válvula de não-retorno;
- 2 monômetros (1 para controle da pressão à bomba + 1 para controle de limpeza do filtro);
- 1 filtro;
- Acessórios de ligação ao conjunto.

Tipos diversos de gotejadores foram criados para fornecerem os reduzidos fluxos próprios da irrigação gota-a-gota (2-70 l/h).

Cedo se constatou que uma boa filtragem da água de rega é a chave do sucesso operacional da "gota-a-gota". Conquanto fossem sendo criados e ensaiados filtros de diferentes tipos e propriedades, o entupimento freqüente dos dispositivos de irrigação gota-a-gota retardou o progresso do sistema. De tempos a tempos, novos e melhores filtros de membrana são criados e aperfeiçoados, para solucionar o problema do entupimento causado por poeiras e ferrugem de tubulações, em suspensão na água de rega. O filtro de gravilha, criado no Vale do Jordão para filtrar água do lago de Kinneret (Galiléia) destinado à "gota-a-gota", desencadeou uma pequena revolução no campo da filtragem; quando adequadamente usado, este tipo de filtro pode resolver a maioria dos problemas de filtragem de águas com quaisquer quantidades de matéria orgânica e coloidal em suspensão. Estão sendo feitas tentativas para substituir os volumosos filtros de gravilha por aparelhos mais compactos, utilizando, em vez de gravilha, camadas de lâminas finamente caneladas. Os ensaios prosseguem.

Recentemente, a introdução de filtros de turbilhão ("ciclones") veio tornar possível a filtragem eficaz de águas contendo apreciáveis quantidades de areia.

A obstrução dita "química" dos gotejadores é causada por depósitos provenientes da água ou dos fertilizantes. A obstrução por depósitos de águas duras é limitada a certas zonas e condições; mais comum é a causada pelos depósitos de fertilizantes aplicados através do dispositivo de irrigação.

GOTEJADORES "MV"

Em Israel foi desenvolvida e é fabricada toda a gama de aparelhos especializados para a irrigação gota-a-gota. A primeira e mais importante peça do sistema é o gotejador propriamente dito, de que existem, pelo menos, seis tipos e fabricos diferentes, seguindo um ou outro de três modos de funcionamento conhecidos: "de longo percurso da água" (gotejador de espiral "Netafim-Blass", gotejador de labirinto "Lego"), "de orifício estrangulado" (bicos "Technoram", botões "Naan", emissores de multiplas saídas "Gabbay"), e "de turbilhão" (gotejador "Plastro-Gvat-Tirosh").

No Brasil será fabricado (sob patente) o gotejador "MV", em polipropileno injetado, para emprego exclusivo do sistema "AGROTEC".

O modelo foi baseado, inicialmente, no gotejador "NETAFIM", que realiza as reduções de pressão pelas perdas de carga conseguidas ao longo de uma via helicoidal.

O gotejador "MV", tal como foi calculado e projetado, difere do seu inspirador nos seguintes pontos técnicos que o tornam muito mais regular e acessível:

- a) As perdas de pressão são conseguidas por meio de uma câmara que provoca o fenômeno chamado "turbilhão hidráulico", e de uma via helicoidal milimétrica, que dá acesso à câmara periférica de onde parte o gotejamento;
- b) É desmontável com muita facilidade, permitindo a sua inspeção interior;
- c) É de ajustamento fácil à tubulação terciária, e está guarnecido de palhetas protetoras contra obstrução.

Todos os cálculos de hidráulica que permitiram a concepção do gotejador "MV" foram apreciados e considerados corretos pelo INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRAÚLICAS DA REPÚBLICA DA ÁFRICA DO SUL.

O controle de qualidade é assegurado, em Israel, por instituições autorizadas, tais como o Instituto de Padrões de Israel ou o "Technion", o Instituto de Tecnologia de Israel, de acordo com padrões estabelecidos pelo

Centro de Equipamentos Hidráulicos de Israel, do mesmo modo que para qualquer outro equipamento de irrigação. A "AGROTEC" manter-se-á em permanente contato com estes organismos.

Em estreito contato, por outro lado, com os agricultores, a "AGROTEC", à semelhança do que fazem os peritos das equipes regionais e do quadro central do Departamento de Solos e Irrigação de Israel, realizará a coleta de dados para ulterior desenvolvimento.

CONEXÃO "MV" PARA LIGAÇÃO AO CIRCUITO DE REGA (em carga hidráulica):

Fabricada no Brasil, em polipropileno injetado, com vedante de borracha.

É a conexão rápida e hermética entre a tubulação secundária e as múltiplas linhas da quadrícula de irrigação da tubulação terciária.

TUBULAÇÃO TERCIÁRIA (PORTA-GOTEJADORES)

Fabricada no Brasil, em polietileno de baixa densidade, para uma pressão de 4 kg/cm^2 , a partir de boas resinas. Este tipo de tubulação foi testada e confirmada pelo INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS DA REPÚBLICA DA ÁFRICA DO SUL, com amostras representativas.

Utilizou-se nos ensaios o processo "NONIDET" (stress craking).

TUBULAÇÃO PRIMÁRIA E SECUNDÁRIA

Fabricada no Brasil, em polietileno.

ACESSÓRIOS DE LIGAÇÃO

Em polietileno.

Existe toda a gama necessária para a execução das instalações, produzida pelos fabricantes nacionais de tubulação.

VÁLVULAS

Existem todas as necessárias, de fabrico nacional, para a instalação da irrigação gota-a-gota.

CONTROLE

Estação ou estações de controle compostas, unitariamente, por 2 tensiômetros (vacuômetros), colocados a 12", 24" ou 36" de profundidade.

PLANIFICAÇÃO DA IRRIGAÇÃO DE ACORDO COM OS VALORES DE TENSÃO DA ÁGUA NO SOLO

USO DO TENSÍMETRO

Na agricultura de regadio e, muito especialmente, na irrigação gota-a-gota os dois problemas que surgem no uso da água são:

- Quando se deve regar?
- Que quantidade de água se deve usar?

Normalmente, os agricultores confiam na sua experiência, ou na dotação e rotação aconselhadas pelos serviços agrônômicos oficiais.

Na maior parte dos casos, porém, o uso pelo agricultor do seu regadio é deturpado por fatores diversos de comportamento ecológico e físico, que pouco têm a ver com a obtenção dos máximos rendimentos econômicos e com a qualidade da colheita.

Assim, onde há muita água, a tendência é usá-la com excesso; pelo contrário, quando é pouca ou cara, usam-na com escassez.

Para usar a água de forma criteriosa, deve-se regar quando a quantidade de água que existe no solo ou, melhor, o potencial em água, é ainda suficientemente alto para a planta não sentir efeitos de seca, mas não tanto que, com a rega, o ambiente se torne hostil por encharcamento.

Portanto, o problema que imediatamente se põe é :

- Como poderemos saber o momento em que a planta está perto de sentir os efeitos da falta de água ou do excesso desta?

O método de avaliação do potencial da água no solo que aconselhamos (método DOWNEY) define o potencial total como a quantidade de trabalho necessário para transportar uma unidade de água pura desde o ponto de absorção das raízes até um depósito a altura e pressão atmosférica dadas; é o somatório dos três potenciais: gravitatório, mátrico e osmótico. O tensiômetro baseado no método "DOWNEY" atende à circunstância de que, quando o nível de referência tem a mesma cota que o ponto considerado, o potencial gravitatório é nulo, e atende, também, a que, em solos sem problemas de salinidade, a componente osmótica do potencial pode desprezar-se em relação à mátrica. Assim, a medida do potencial mátrico passa a ser uma indicação do potencial de água no solo e, indiretamente, do "stress" de água a que a planta está submetida.

A origem do potencial mátrico é a força de tensão superficial que se desenvolve na interfase líquido-gás nos capilares do solo, em condições de não saturação; ou o peso que exerce uma coluna de água num ponto considerado, em condições de saturação. Tomando como nível de referência a superfície de água livre, seja h a altura alcançada pela água, sobre a dita superfície, nos capilares do raio r ; temos a seguinte igualdade:

$$2 r k = r^2 p g h$$

onde
 k = Tensão superficial da água
 p = Peso específico da água
 g = Aceleração da gravidade

De acordo com a definição de tensão mátrica, atribuímos valores positivos a h quando o ponto considerado se encontra acima da superfície livre da água e negativos quando abaixo.

A expressão matemática da tensão mátrica (T_m) é a equação:

$$T_m = p g h = \frac{2 k}{r}$$

Das muitas maneiras de medir a tensão mátrica (T_m), a única direta e instantânea é aquela que utiliza o tensiômetro. Este aparelho consiste em um tubo fechado, cheio de água, que termina numa cápsula cilíndrica de porcelana porosa, permeável à água e sais solúveis; no extremo superior, existe um indicador de vácuo e um tampão por onde se enche o tubo com água. Conforme o solo vai secando, a água sai através da porcelana porosa criando um vácuo parcial no interior, que se mede no indicador de vácuo, de tipo "membrana"; quando o solo se umedece, depois de uma chuva ou rega, a sucção ou tensão do solo reduz-se e a água entra no tensiômetro, diminuindo a leitura do indicador.

O intervalo de medida da tensão é de 0 a 80 centibares. Com o uso do tensiômetro para medir a tensão da água no solo, estamos em condições de programar, com mais rapidez e facilidade, de uma forma quantitativa e qualitativa, os problemas que antes apresentamos.

O programa que se preconiza consiste em regar quando as leituras do tensiômetro, colocado à profundidade da máxima concentração das raízes (15 a 60), alcançarem os valores que apresentamos no seguinte quadro:

CULTURA	(em centibares)
Limoeiro	40
Laranjeiras	50-70
Fruteira de folha caduca	78-80
Uva (verdes)	40-50
Uvas (maduras)	80
Hortigranjeira	70-80

A duração da rega ou a quantidade de água a aplicar deduz-se das leituras dos dois tensiômetros, que nós consideramos em conjunto, como uma só instalação. Se as leituras do tensiômetro situado a maior profundidade (60 a 90 cm) são baixas, usam-se doses pequenas de água; se são altas, a quantidade de água a aplicar deve ser tal que o tensiômetro responda à rega acusando diminuição do valor da tensão da água.

RESULTADOS DE ALGUNS ENSAIOS DE IRRIGAÇÃO GOTA-A-GOTA

Os ensaios de que, a seguir, se dá notícia foram feitos em Israel, país responsável pela mais intensa pesquisa em matéria de irrigação e no qual, só em 1973, foram providos de "gota-a-gota" cerca de 3.500 hectares de pomares e de 5.000 hectares de hortaliças e outras culturas. A área pomícola irrigada por gota-a-gota naquele ano foi, em 2/3, constituída por árvores de folha caduca, sendo o terço restante de bananeiras, vinhas, cítricos e outras. Pelo que respeita a produtos hortigranjeiros irrigados gota-a-gota estes ocuparam, naquele ano, uma área de

3.500 hectares em estufas de plástico (tomates, pepinos, pimentões, beringelas, melões, abóbora, etc., bem como flores e a quase totalidade dos morangueiros) e 1.500 hectares em culturas a céu aberto.

Antes de passarmos à transcrição dos resultados dos ensaios a que nos reportamos, alinharemos, a título de informação geral, algumas particularidades do processo "gota-a-gota", que foram sendo reveladas pelas pesquisas israelenses, no tocante à distribuição de sais e fertilização.

DISTRIBUIÇÃO DE ACUMULAÇÃO DE SAIS

A distribuição de sais no solo acompanha a da água. A cada rega, os sais em solução penetram no solo, podendo acumular-se ou desaparecer por lixiviação. Em corte, a forma genérica da distribuição e acumulação de sais no solo apresenta uma zona lixiviada, com o feitio de um bulbo, imediatamente sob o gotejador e concentrações de sal perto da superfície, na periferia e na zona inferior do bulbo. O volume da zona lixiviada depende da distribuição da água; a acumulação junto da superfície e na periferia da mesma zona depende da salinidade da água de rega, da cadência da irrigação, do grau de evapotranspiração, da condutividade hidráulica do solo a diferentes profundidades e dos movimentos de difusão dos sais em regresso à zona lixiviada.

O sucesso da "gota-a-gota" com água relativamente salina e, em parte, atribuído à formação das zonas lixiviadas sob os gotejadores, onde a maioria das raízes se concentram e trabalham.

No caso de acumulação de sais em quantidade apreciável perto da superfície ou na periferia da zona lixiviada, torna-se necessário lavar o terreno em profundidade, o que habitualmente se faz enchendo-o após a colheita. Nas regiões chuvosas, raramente é necessária a lavagem artificial.

COMBINAÇÃO DA FERTILIZAÇÃO COM A IRRIGAÇÃO

No processo "gota-a-gota" é possível a aplicação de fertilizantes com a água de rega. Como foi dito, a "cabeça" do sistema pode compreender um depósito de fertilizantes. Durante a aplicação de fertilizantes através do dispositivo "gota-a-gota", pode ocorrer obstrução, devida principalmente a depósitos de fosfato e a diversas reações químicas.

Pelas razões dinâmicas que levam à formação de uma zona lixiviada sob os gotejadores, também os nutrientes da planta tendem a ser lixiviados da zona radicular principal. Tal fenómeno requer um programa de aplicação de fertilizantes mais intenso, apropriado a cada cultura em condições determinadas.

O processo "gota-a-gota" clássico é caracterizado por umidade e arejamento favoráveis do solo, combinados com disponibilidades de nutrientes numa dada zona radicular.

ENSAIOS

PUBLICAÇÃO: Universidade Hebraica

Faculdade de Agricultura

CAMPO DE ENSAIO: Kibbutz Hazecrim - D.H. Hagenev

VINHAS:

VARIEDADE:	TAMAR (41 - B)
ESPAÇAMENTO:	3,0 x 2,0 mts
QUADRÍCULA DE REGA:	1 linha por fila, 1 gotejador metro a metro (2 L/H)
PRECIPITAÇÃO/REGA:	0,7 mm/hora
PRECIPITAÇÃO/TOTAL:	750 mm
ENSAIO - 3 TESTES DE INTERVALOS DE IRRIGAÇÃO	
A - 7,5 dias	
B - 15 dias	
C - 30 dias	
Resultados da colheita	

INTERVALOS	PRODUÇÃO/HECTARES
A	55.100 kg
B	45.300 kg
C	40.600 kg

PUBLICAÇÃO: MINISTÉRIO DA AGRICULTURA

Estado de Israel

CAMPO DE ENSAIO: Estação Experimental de Rechovoth

CÍTRICOS

VARIEDADE: Valencia LATE

ESPAÇAMENTO: 5,0 x 5,0 mts

QUADRÍCULA DE REGA: 2 linhas por fila, 1 gotejador metro a metro (2 L/h)

PRECIPITAÇÃO: 0,8 mm/h.

ENSAIOS - TESTE 1 - 2 intervalos de irrigação gota-a-gota

" 2 - Comparação entre irrigações gota-a-gota e por aspersão

FREQUÊNCIA DE REGA:

A= gota-a-gota - 7 dias

B= gota-a-gota - 14 "

C= aspersão - 14 "

QUADRO DA PRECIPITAÇÃO

ENSAIOS	NÚMERO DE IRRIGAÇÕES				PRECIPITAÇÃO/CAMPANHA			
	1967	1968	1969	1970	1967	1968	1969	1970
A	24	24	25	29	568	563	636	710
B	7	8	8	16	550	544	600	730
C	7	8	8	16	550	544	600	730

PRODUÇÃO

ANOS ENSAIOS	COLHEITA BRUTA Kg/Ha			COLHEITA EXPORTÁVEL Kg/Ha		
	A	B	C	A	B	C
1967	33.600	29.600	39.000	-	-	-
1968	56.400	56.400	65.000	40.200	41.000	31.080
1969	42.300	44.800	37.400	25.000	14.600	23.200
1970	58.300	54.280	43.200	43.000	44.000	35.400

PUBLICAÇÃO: MINISTÉRIO DA AGRICULTURA

Estado de Israel

CAMPO DE ENSAIO: Área da Galileia

MAÇÃ

VARIEDADE:	Iftach
ESPAÇAMENTO:	6.0 x 4.0 mts
QUADRÍCULA DE REGA:	2 linhas por fila, 1 gotejador (4 L/H) a 1,25 mts.
PRECIPITAÇÃO:	1.1 mm/H
TOTAL:	(CAMPANHA) Água aplicada: 850 - 1000 m
ENSAIO:	Teste de intervalos de irrigação gota-a-gota e comparação entre irrigações, gota-a-gota e por aspersão.

PRODUÇÃO

D 7= " " " " 7 dias

D 3= Gota-a-gota em 3 dias

SP = Aspersão

ENSAIO	PRODUÇÃO TOTAL	CLASSIFICAÇÃO DOS FRUTOS				
	Kg/Ha	DIMENSÃO 60-75		DIMENSÃO 45-55		
		Kg/Ha	%	Kg/Ha	%	
D 3	81.100	71.292	88	9.765	12	1967
D 7	83.300	65.137	78	18.375	12	
SP	71.000	41.447	58	29.952	42	
D 3	83.000	63.530	76,5	19.488	23,5	1969
D 7	77.900	55.043	81	12.895	19	
SP	65.600	35.968	54	30.570	46	
D 3	61.350	59.246	97	1.854	3	1970
D 7	55.350	50.840	91	5.026	9	
SP	59.450	48.575	81	11.371	19	

CAMPO DE ENSAIO: Rafiach

MELÃO

VARIEDADE: Ha'ogen
SEMENTEIRA: 1.8.71
ESPAÇAMENTO: 150 cm x 5 cm
QUADRÍCULA DE REGA: 1 linha por fila, 1 gotejador (4 L/H a 0,5 mts)
PRECIPITAÇÕES: Gota-a-gota - 570 mm por campanha (6.3 mm/dia) Aspersão - 515 mm por campanha (5.7 mm/dia)
INTERVALOS DE IRRIGAÇÃO: Gota-a-gota - Diária
Aspersão - 1º mês - Diária
2º mês - 2 dias
3º mês - 3 dias
ENSAIO: Comparação entre irrigação gota-a-gota e aspersão

PRODUÇÃO

	ASPERSÃO	GOTA-A-GOTA
PRODUÇÃO Kg/Ha %	17.000 100	33.000 194
PRODUÇÃO Kg/m ³ água %	3.5 100	5.4 154

CAMPO DE ENSAIO: VANNE - SULLY SUR LOIRE - FRANÇA

BERINGELA

VARIEDADE: Black Queen

SEMENTEIRA: Em 30.10.1969

QUADRÍCULA DE REGA: 1 linha por canteiro com gotejador
cada 0,50 mts (2 L/H)

PRECIPITAÇÃO: 4 mm/h

ENSAIO: Comparação entre irrigações gota-a-gota e aspersão

QUADRO DA IRRIGAÇÃO

MÊS	GOTA-A-GOTA		ASPERSÃO	
	INTERVALO	mm	INTERVALO	mm
FEVEREIRO	4 dias	8	7 dias	14
MARÇO	2	6	7	21
ABRIL	2	8	5	20
MAIO	2	10	5	25
JUNHO	2	12	4	25
JULHO	2	12	4	25

Kg/Ha

DATA	ASPERSÃO	GOTA-A-GOTA	OBSERVAÇÃO
1.4	1.110	2.220	Mercado local
14.4	2.220	1.565	
21.4	2.520	4.440	
28.4	4.810	6.660	
6.5	7.400	12.580	
15.5	8.880	17.940	
19.5	6.290	7.770	Exportação
24.5	2.220	2.590	
29.5	2.220	1.850	
3.6	2.700	6.660	
PRODUÇÃO TOTAL	41.370	64.280	
%	100 %	155,3 %	

PIMENTÃO VERDE

VARIEDADE TILINKOR
 SEMEITEIRA: 27.1 - 1.2.68
 QUADRÍCULA DE REGA: 1 linha em 2 filas gotejador
 (21/h) 050 mts
 PRECIPITAÇÃO: 4.4 mm/h
 ENSAIO: Comparação entre irrigações go-
 ta-a-gota e espersão

QUADRO DA IRRIGAÇÃO

DATA	GOTA A GOTA		ASPERSÃO	
	INTERVALO	mm	INTERVALO	mm
abril-15 maio	5 dias	20-25	2 dias	8-10
15.5 - 12.6	3 dias	18-21	2 dias	12.14

PRODUÇÃO

1a. colheita: 28.04 - 29.05

QUANTIDADE	ASPERSÃO		GOTA-A-GOTA	
	A	B	A	B
Kg/Ha	5.570	4.300	22.500	6.540
%	100	100	404	152
TOTAL Kg/Ha	9.870		29.040	
TOTAL %	100		295	

2a. colheita: 29.05 - 12.06

	ASPERSÃO	GOTA-A-GOTA
Kg/Ha	14.600	24.670
%	100	167

PERSPECTIVAS DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO, EM SÃO PAULO

Dirceu Brasil Vieira *

1 – INTRODUÇÃO

A moderna agricultura utiliza diferentes técnicas de cultivo para permitir maiores e melhores produções, garantindo bom rendimento por área. A irrigação contribui decisivamente no sentido de se obter melhor rendimento agrícola, quer por proporcionar a implantação de uma agricultura racional em zonas de clima árido ou semi-árido, quer por propiciar melhor desenvolvimento das culturas em outras regiões.

Até há poucos anos passados a irrigação era feita pelos métodos de sulcos de infiltração, inundação, subirrigação e aspersão. Contudo a introdução do sistema de irrigação por gotejamento representou nova filosofia de aplicação de água, proporcionando não só melhores produções em comparação com os métodos tradicionais de rega, como maior economia de água. Tais qualidades do gotejamento causaram um desenvolvimento inusitado em matéria de irrigação, de tal forma que sua utilização vem se desenvolvendo celeremente em diferentes países.

No Brasil, mais particularmente no Estado de São Paulo, o sistema de irrigação por gotejamento começou a ser utilizado há pouco mais de três anos e, em virtude dos bons resultados obtidos vem sendo cada vez mais procurado pelos agricultores. Isto aliás, vem de acordo com citações de GOLDBERG e SHIMULLI (3), que acentuam ser o gotejamento o método de irrigação indicado para regiões de clima árido e semi-árido, porém pode ser utilizado com sucesso em áreas de clima úmido ou semi-úmido.

2 – CARACTERÍSTICAS DO GOTEJAMENTO

O sistema de irrigação por gotejamento é composto de linhas laterais, linhas secundárias, linha principal e comando. As linhas laterais são de polietileno de 12,5 mm de diâmetro, flexível e preto para evitar o desenvolvimento de algas. Nessa linha estão inseridos os gotejadores, que aplicam a água à cultura. As linhas secundárias levam a água da linha principal as linhas laterais de uma posição. São normalmente de PVC, podendo ser enterrados ou não. A linha principal une o comando às laterais, normalmente são enterrados, podendo ser de PVC ou de metal. O comando é composto de moto bomba, filtro de areia, filtro de tela, misturador de adubos, válvula e registro. Fornece a água a pressão suficiente e limpa para os gotejadores. O êxito da irrigação por gotejamento depende da filtragem, do bom funcionamento dos gotejadores e do projeto de irrigação.

O sistema de irrigação por gotejamento surgiu em 1940 na Inglaterra, onde era utilizado na irrigação e fertilização de cultivos em estufas de vidro. Porém sua utilização no campo se deu por volta de 1950 em Israel. A partir de 1960 o gotejamento sofreu grande desenvolvimento sendo utilizado como prática rotineira na Austrália, Europa, Israel, México, República Sul Africana, USA, etc, KARMEI e KELLER. (5).

A irrigação por gotejamento representa nova filosofia de irrigação. Nos métodos tradicionais de irrigação as aplicações de água elevam o teor de umidade no solo até a capacidade de campo. Após, a planta vai consumindo a água até que o teor de umidade aproxime-se da umidade de murchamento, quando nova aplicação é feita. Isto causa uma dificuldade crescente para a planta absorver a umidade do solo, a medida que seu teor se reduz, da capacidade de campo para a umidade de murchamento.

No gotejamento o solo é mantido na capacidade de campo, procedendo-se a aplicações diárias ou máximo intervalo de três dias, recolocando-se a quantidade de água que a planta consumiu. Para tanto utiliza-se um tanque classe A simplificado, que permite a avaliação da quantidade de água consumida pela planta. Dessa maneira o sistema radicular encontra no solo, durante todo o ciclo da cultura, sempre teor de umidade próximo da capacidade de campo, isto é, fracamente retida pelo solo e, portanto, absorvida com facilidade pela planta. Há portanto, menos gastos de energia pela planta e, conseqüentemente, melhor produção. Aliando-se a isso o fato do adubo ser aplicado juntamente com a água de irrigação, a produção de plantas irrigadas por gotejamento é melhor. Os aumentos de produção com a utilização do gotejamento em relação aos métodos tradicionais de irrigação, podem atingir 25 a 50% em frutífera, e 50 a 100% em vegetais. BLASS (1).

Quando se aplica grandes quantidades de água de uma vez, como ocorre nos métodos tradicionais de irrigação, quebra-se o equilíbrio entre as fases do solo, prejudicando a aeração. O gotejamento mantém o solo permanentemente arejado, mesmo durante a irrigação, garantindo assim boas condições de absorção e, conseqüentemente melhor produção. VIEIRA (7).

* Engenheiro Agrônomo, Professor Assistente Doutor do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Faculdade de Engenharia de Limeira – UNICAMP.

As floriculturas também respondem muito bem ao gotejamento, tanto as cultivadas em estufas como em canteiros. As principais plantas estão sendo irrigadas por gotejamento são: (gladiolos), rosas, cravos e crisântemos.

Na horticultura o gotejamento pode ser utilizado com sucesso em tomates, berinjela, pimentões, etc. Propiciando ótimos aumentos de produção como o obtido por VIEIRA (7) em Berinjela que sob o gotejamento produziu 70% mais que quando irrigada por sulcos de infiltração. Esta vantagem da maior produção se repete na maioria das plantas, favorecidas ainda, por não molhar as folhas e portanto permite perdurar por mais tempo a proteção dos defensivos e por não disseminar doenças veiculadas pela água, como ocorre com a aspersão e por sulcos de infiltração respectivamente.

5 – CONCLUSÃO

Embora o Estado de São Paulo localize em região de clima sub tropical onde os totais anuais de precipitação são suficientes para a agricultura, a irrigação é uma realidade pois compensa a má distribuição das chuvas. Entre os sistemas de irrigação o gotejamento, por proporcionar melhor aproveitamento da água, garantindo seu uso de maneira mais racional e eficiente.

Atualmente com a crescente poluição e a escassez de recursos hídricos, o gotejamento é uma solução, notadamente para os cultivos intensamente explorados. Pois é necessário aproveitar ao máximo os recursos de água disponíveis, permitindo a irrigação de culturas mesmo com a utilização dos mananciais insuficientes para os demais métodos de irrigação.

6 – BIBLIOGRAFIA

- 6.1 – BLASS; S. Drip Irrigation – Publicação do Departamento Técnico da Agriplas – Drip Irrigation International Company – República Sul Africana – 1973.
- 6.2 – Diagnóstico Básico do Plano de Irrigação do Estado de São Paulo. Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) – Secretaria de Serviços e Obras Públicas – São Paulo – 1974.
- 6.3 – GOLDBERG; D. et SHMUELLI; M. – El Riego por Gotoe. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo. México – 1972.
- 6.4 – HOARE; E. R. et Al – Plant Water Riquerements as Related to Trickle Irrigation Congress – San Diego – Cal. USA – 1974.
- 6.5 – KARMEI; D. et KELER; J. Trickle Irrigation Design. Publicação da Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation – Glendora, California. 1975.
- 6.6 – Plano Nacional de Irrigação – Fase 1 Diagnóstico Preliminar – Grupo Executivo de Irrigação para o Desenvolvimento Agrícola. GEIDA – MININTER – Brasília – 1970.
- 6.7 – VIEIRA; D. B. – Estudo da irrigação por gotejamento na cultura da berinjela (*Solanum melongena*, L.) Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia de Limeira - UNICAMP - Limeira - SP – 1973.
- 6.7 – VIEIRA; D. B. – Estudo da irrigação por gotejamento na cultura da berinjela (*Solanum melongena*, L.) Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia de Limeira - UNICAMP - Limeira - SP – 1973.
- 6.8 – Anuário Estatístico do Brasil – Fundação IBGE. Ministério do Planejamento e Coordenação Geral. Instituto Brasileiro de Estatística – 1970.

IRRIGAÇÃO POR GOTEJO EM POMELO: DADOS PRELIMINARES

Antonio Fernando Olitta *
Celio S. Moreira **

1 – INTRODUÇÃO

O método de irrigação por gotejo tem recebido um interesse extraordinário nos últimos anos, evidenciado pelo espetacular aumento em todo o mundo das áreas irrigadas por este método. Ainda que no Brasil esteja um estágio inicial de implantação, pois os primeiros fabricantes de equipamento só recentemente iniciaram comercialização desse tipo, é de interesse determinar para as nossas condições, o comportamento de culturas por este sistema de aplicação de água. Com esta finalidade, foi idealizado um experimento utilizando-se da cultura de Pomelo — Grape fruit (citrus paradisi, Macfadyen), empregando um sistema de irrigação por gotejo fabricado pela Cia. Industrial de Plásticos CIPLA. O experimento foi planejado para ser conduzido por um período mínimo de 4 anos, quando então teríamos um estudo completo do comportamento da cultura.

Os dados aqui apresentados referem-se à fase inicial da cultura, durante o primeiro ano de desenvolvimento das plantas.

Considerando este aspecto preliminar do assunto foram estabelecidos diversos itens de estudo de modo a evidenciar o comportamento das plantas sob diversas freqüências de irrigação por gotejo e sob diversos números de gotejadores por árvore, também relacionados às diferentes vazões dos gotejadores.

2 – REVISÃO DA LITERATURA

O único trabalho disponível que utiliza esta cultura é citado por HALEVY e outros (1975), como realizado em Israel e apresentando um período de observação de 1967 a 1969. Os resultados mostram um considerável aumento na produção por unidade de área, quando se compara o método de irrigação por gotejo com o método de aspersão.

BESTER e outros (1974) apresentou dados de comparação do método de gotejo com outros métodos de irrigação, incluindo micro aspersores, aspersores gigantes e taças de inundação, em que o gotejo aparece como o mais eficiente com relação à utilização da água, baseado na produção obtida por unidade de água aplicada. Eles trabalharam com pomar de citrus já formado, de variedade Washington Mavel (Citrus sinensis, Osbeck).

YAGEV e CHORESH (1974) trabalhando com pomar de citrus, variedade Valência (Citrus sinensis, Osbeck), não encontraram diferença significativa na qualidade e na quantidade produzida, dentro de uma comparação entre os métodos de gotejo e aspersão. Citam também que a utilização de uma linha lateral de gotejo por fileira de plantas é suficiente para o bom desenvolvimento das árvores.

3 – MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no campo experimental do Departamento de Agricultura e Horticultura da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", cujo solo apresentou-se como da Série Luiz de Queiroz, descrito por RANZANI e outros (1965). A cultura utilizada foi pomelo (Cultivar marsh seedless), plantada no espaçamento de 7 x 6 m, empregando mudas enxertadas sobre cavalo limão cravo (citrus limonia, Osbeck). O plantio foi realizado em 22/8/1974, sendo utilizado inicialmente a irrigação de superfície (taças) para o estabelecimento da cultura. As práticas culturais adotadas foram as normais para esta cultura.

O equipamento de irrigação por gotejo foi fornecido pela Cia. Industrial de Plásticos CIPLA, constituindo-se de tubos de polietileno nos diâmetros 2", 1/2" e 3/4" para as linhas principais, de derivação e lateral, respectivamente. A água foi retirada de uma barragem de terra situada nas proximidades, sendo armazenada em um reservatório de 4.000 litros, para fornecer uma carga hidráulica ao sistema de irrigação equivalente a 6 m.c.a. em média.

O gotejador CIPLA apresentou-se com características de regulação da vazão, possibilitando o emprego de vários fluxos de água em cada tratamento.

* Professor Assistente do Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP.

** Professor Assistente do Departamento de Agricultura e Horticultura, ESALQ/USP.

O delineamento experimental foi esquematizado de modo a proporcionar 3 freqüências de irrigação (1 dia, 2 dias e 3 dias), combinado com 3 diferentes vazões e 3 diferentes números de gotejadores por planta. Adotou-se em cada freqüência de irrigação, gotejadores com vazão de 2 lph, 2,7 lph e 4 lph, sendo que o número de gotejadores por planta era respectivamente, 4, 3 e 2. Deste modo em cada freqüência de irrigação, a mesma quantidade de água era aplicada através de 4 gotejadores com 2 lph cada um, 3 gotejadores com 2,7 lph cada um e 2 gotejadores com 4 lph cada um. Isto possibilitou a utilização da linha lateral formando um anel em volta da árvore no primeiro caso, em zig-zag, no segundo caso e em linha reta no terceiro caso. Teremos então diferentes modos de dispor o equipamento no campo, proporcionando uma avaliação efetiva da irrigação por gotejo no desenvolvimento da cultura. Resumindo, teremos os seguintes tratamentos que são apresentados no quadro I.

QUADRO I – Tratamentos empregados no experimento.

Tratamento	Freqüência de irrigação/dias	Nº de gotejadores por planta	Vazão do Gotejador (l ph)
1	1	2	4
2	1	3	2,7
3	1	4	2
4	2	2	4
5	2	3	2,7
6	2	4	2
7	5	2	4
8	3	3	2,7
9	3	4	2
10	sem irrigação	—	—

Empregou-se 2 filtros tipo cesta na linha de abastecimento do reservatório para limpeza da água, se bem que no estado natural apresenta-se razoavelmente limpa, não acarretando muitos problemas de entupimento nos gotejadores. Ainda assim, uma prática usual foi a regulagem periódica dos gotejadores durante o ciclo da cultura.

Com a finalidade de observar o comportamento inicial da cultura sob este método de irrigação, procedeu-se durante este primeiro ano do ciclo, diversas medições periódicas envolvendo: altura da planta, tamanho da copa com indicações da largura nos sentidos paralelos e perpendicular à linha das plantas, diâmetro do tronco logo acima do ponto de enxertia, a 20-30 cm da superfície do solo.

O experimento, tem 65 plantas, ocupando uma área de 4.800 m², sendo cada tratamento constituído de 5 plantas em linha.

O cálculo das dotações de água em cada tratamento foi baseado no processo descrito por HOWELL e HILLER (1972), que utiliza dados de evaporação do tanque classe A para o relacionamento com o consumo de água, e um fator de cobertura (K) relacionada a porcentagem da área total, coberta pela copa da árvore.

Em todos os tratamentos adotou-se a aplicação de praticamente a mesma quantidade de água, variando somente a freqüência e o número de pontos de saída d'água. O equipamento de irrigação por gotejo foi regulado para aplicar 8 litros/hora/árvore, de modo que na freqüência igual a 1 dia, o tempo de funcionamento foi 2 horas, 4 horas para a freqüência 2 dias e 8 horas para a freqüência 3 dias.

4 – RESULTADOS E CONCLUSÕES

Foram realizadas durante o período de 1 ano a partir do transplante, medições periódicas de diversos parâmetros relacionados ao desenvolvimento vegetativo das plantas. Os resultados são apresentados nos quadros 2, 3 e 4 sendo mostrados também nas figuras 1, 2 e 3, como curvas de crescimento, para salientar melhor o efeito da irrigação por gotejo nesta cultura.

QUADRO 2 – Medições da altura da planta durante o 1º ano de desenvolvimento da cultura (em cm).

DIAS APÓS O TRANSPLANTE					
Tratamento	81	138	232	284	365
1	95,8	107,4	141,6	153,0	159,0
2	102,2	114,0	143,6	163,8	172,0
3	103,4	113,6	148,0	157,8	168,4
4	96,4	113,0	130,8	142,0	153,0
5	99,0	111,0	135,6	140,0	150,8
6	98,0	109,4	146,2	150,0	166,6
7	91,2	110,8	135,0	139,0	146,0
8	92,8	107,0	130,4	133,0	147,4
9	96,6	106,6	133,4	126,0	145,2
10)	93,5	105,6	125,2	133,0	143,0

QUADRO 3 – Valores médios dos diâmetros do tronco medidos a 20-30 cm do solo em cm.

DIAS APÓS O TRANSPLANTE					
Tratamento	81	138	232	284	365
1	23,4	25,0	30,6	33,6	40,9
2	22,3	24,6	31,5	34,6	40,5
3	22,1	23,2	31,5	33,2	40,1
4	23,4	24,2	28,2	31,0	38,9
5	23,0	23,4	28,9	31,1	37,1
6	22,4	23,6	30,1	33,5	40,2
7	21,1	21,6	26,8	29,4	34,9
8	20,4	22,4	28,5	31,9	37,7
9	22,2	24,2	29,6	32,3	39,7
10)	18,3	20,3	25,1	27,3	32,0

QUADRO 4 – Projeção horizontal da área da copa das árvores em m² (produto das larguras medidas em dois setidos perpendiculares).

DIAS APÓS O TRANSPLANTE				
Tratamento	138	232	284	365
1	0,67	1,57	2,23	3,46
2	0,73	2,17	2,35	3,54
3	0,76	1,79	2,17	3,17
4	0,71	1,21	1,77	2,68
5	0,68	1,41	1,85	2,62
6	0,65	1,97	2,07	3,27
7	0,55	1,27	1,44	2,29
8	0,71	1,44	1,77	2,74
9	0,61	1,32	1,51	2,10
10)	0,55	1,05	1,34	1,73

Os dados apresentados mostram em primeira aproximação que a frequência de irrigação igual a 1 dia, proporcionou um maior desenvolvimento vegetativo às plantas, se bem que o tratamento 6, com frequência 2 dias e 4 gotejadores por árvore, sempre aproxima dos valores máximos. Comparando-se o efeito do número de gotejadores, os dados mostram alguma contradição, sendo razoável afirmar-se que o número de gotejadores igual a 3 proporciona um bom resultado. Em todos os quadros, é grande a diferença entre as medidas do tratamento sem irrigação comparada com as dos outros. Isto é facilmente notado, pela maior altura, maior copa e maior diâmetro do tronco, fatores que indicam um desenvolvimento mais rigoroso no tratamento onde a irrigação é diária.

Os dados são preliminares, e a eles serão juntados dentro de algum tempo, outros valores indicativos do volume e qualidade de produção. Futuramente serão feitos também estudo do volume e distribuição de raízes. A apresentação dos dados iniciais poderão servir de base para outras pesquisas relacionadas a esta cultura, e para

troca de observações com outros autores interessados no problema de irrigação ou de citricultura.

Os resultados obtidos neste primeiro ano do experimento, permitem informar a frequência diária proporcionou melhor desenvolvimento vegetativo às plantas de pomelos (grapefruit). Também, que o valor adotado para o consumo de água em relação ao tanque classe A, igual a 0,7, parece ser adequado para as condições do experimento, em termos de controle de irrigação.

EVAPOTRANSPIRAÇÃO – MEDIÇÃO DIRETA E A DETERMINAÇÃO INDIRETA POR MÉTODOS DE BALANÇO ENERGÉTICO E AERODINÂMICOS

Virgílio Marques de Lima Rocha *

1 – APRESENTAÇÃO

A maior fonte direta de energia requerida no processo de evaporação da água é a energia radiante proveniente direta ou indiretamente do sol, sendo o fenômeno de irradiação expresso pela seguinte forma simplificada:

$$(Q + q)(1 - a) + I - I = R_n$$

Q = radiação solar diretamente incidente sobre a superfície terrestre;

q = radiação solar difusamente incidente sobre a superfície terrestre;

a = a capacidade de reflexão ou albedo, expressa como uma fração;

I = radiação de ondas longas descendentes;

I = radiação de ondas longas ascendentes;

R_n = balanço de radiação na superfície (radiação líquida).

Pelo princípio de conservação da energia, se admitirmos uma coluna d'água ou de solo que se estenda da superfície terrestre até uma profundidade onde a mudança de calor seja desprezível, podemos escrever:

$$R_n + H + LE + G + F_1 - F_0 = 0$$

R_n = radiação solar líquida na superfície do solo ou massa d'água;

H = transferência ou fluxo de calor sensível do ar, negativa quando expressa um fluxo de calor da superfície para a atmosfera e positiva, quando da atmosfera para a superfície;

LE = fluxo latente de calor devido à evaporação (negativa) ou à condensação (positiva) sendo L o calor latente de vaporização igual a cerca de 590 cal/g;

G = taxa líquida de variação do calor ao longo da coluna de solo ou de água ou fluxo de calor sensível do solo ou água, positiva quando expressa um fluxo de calor para o interior do solo;

F_1 = taxa de transferência horizontal de calor dentro da coluna de solo ou água;

F_0 = taxa de transferência horizontal de calor para fora da coluna de calor ou água.

O termo $F = F_1 - F_0$ somente importa no caso de grandes massas líquidas, podendo ser eliminado. No caso:

$$R_n + G + H + LE = 0$$

que é a equação aproximada do balanço energético.

Segundo Sellers (1965) e Pruitt (1966) somente cerca de 50% do valor de R_n é usado na evaporação da água de superfícies molhadas, porém o valor de LE tanto pode ser muito menor que R_n ou muito maior, indicando que outras condições climáticas afetam decisivamente a partição da energia no processo de transferência.

As questões que aqui se apresentam são relativas à influência principalmente do vento, da umidade absoluta e da temperatura neste processo de partição.

* Engenharia Agrônomo do Departamento de Recursos Naturais da Sondotécnica.

Realmente existem dois requisitos básicos para a ocorrência do processo evapotranspiratório: (1) deve haver uma fonte de energia ou calor, (2) e difusão ou fluxo de vapor d'água precisa ser mantida por meio de algum mecanismo. O primeiro requisito é de natureza energética e o segundo de natureza aerodinâmica.

As equações e fórmulas existentes buscam estabelecer a necessária correlação entre os diversos fenômenos climáticos e o processo de partição, algumas contemplando mais explicitamente os requisitos de natureza energético, outras contemplando os de natureza aerodinâmica. No estudo que ora se apresenta são analisadas equações destes dois tipos, bem como uma equação que busca justamente combinar os dois requisitos.

Todas as equações analisadas são, todavia, de complexa resolução, face à natureza dos parâmetros envolvidos, cuja medição exige equipamento sofisticado.

O documento não pode, portanto, objetivar uma eleição desta ou daquela equação, mesmo porque, segundo se poderá deduzir do trabalho, cada equação oferece, de certa forma, sensibilidades específicas a certas condições climáticas.

Por outro lado, a gama de coeficientes experimentais relacionados com cada equação indicam a necessidade de ajustes regionais o que impossibilita o seu emprego indiscriminadamente.

A equação aerodinâmica de Thornthwaite-Holzman, talvez a mais usada na determinação do fluxo de vapor d'água emitido por superfície evaporante, depende de uma adequada expressão que expresse a transferência de momentum como uma função da mudança da velocidade do vento com a altura acima da superfície, bem como do conhecimento da relação entre os mecanismos de transferência para momentum e para vapor d'água.

Sob condições adiabáticas ou próximas a neutra, a lei logarítmica indica uma relação linear entre velocidade do vento e o logaritmo da altura acima da superfície, desde que sejam feitos certos ajustes para a influência da cobertura vegetal no deslocamento para cima da superfície efetiva de velocidade do vento nula.

Quando o esfriamento ou aquecimento da superfície produz um perfil não adiabático de temperatura, a relação linear mencionada não se sustenta, principalmente se as condições de vento são calmas.

Esta situação tanto pode ocorrer sazonalmente, quanto ao longo do dia, mesmo quando a superfície vegetal se encontra bastante úmida.

O desvio de perfis de velocidade do vento da linha reta semi-logarítmica sob condições não adiabáticas, obviamente limita o uso da equação aerodinâmica, sendo bastante conhecida a inadequação da expressão, sempre que se esperem condições de grande aquecimento ou esfriamento da superfície.

Todavia, para superfícies vegetativas efetivamente molhadas, a questão tem sido considerada irrelevante, exceto à noite quando forte esfriamento da superfície pode ocorrer. A correção dos valores diurnos tem sido desprezada, aparentemente devido à premissa tácita de que o esfriamento devido à evaporação contrabalançaria o aquecimento à radiação incidente na superfície e, sendo assim, tornaria improvável a criação de expressivas taxas de decréscimo de temperatura ao longo da coluna de ar acima da superfície. Tal conceito deriva da crença geral de que havendo superfícies molhadas a radiação solar incidindo sobre elas, nada impedirá o processo evaporativo de usar toda esta radiação na evaporação, provocando conseqüentemente o esfriamento à manutenção de condições adiabáticas. Este conceito negligencia a possibilidade de resistências importantes ao fluxo de vapor d'água para a atmosfera.

Não restam dúvidas de que sob condições de clima árido muito quente, mesmo os ventos suaves bastariam para produzir esfriamento evaporativo cujo valor igualaria ou superaria àquele da radiação líquida incidente.

Todavia, em regiões úmidas ou mesmo regiões áridas durante as primeiras horas matinais, quando o ar acima da vegetação se encontra quase saturado, verifica-se a criação de condições bastante instáveis, principalmente sob baixas intensidades de velocidade dos ventos.

Slatyer e McIlroy (1961) sugerem claramente que nestes casos as taxas de variação de temperatura do ar com a altura seriam elevadas, tanto que adotam um processo de cálculo de evaporação formado de dois termos aditivos, o primeiro em que a radiação líquida (R_n) menos o fluxo de calor sensível para o interior do solo (G), ou seja ($R_n + G$), é multiplicado por um fator de proporcionalidade $s/(s+y)$, dependente da temperatura do ar (variando de 0,40 nas condições próximas a 0°C e 0,75 para temperatura do bulbo úmido de cerca de 25°C) e o segundo dependente da velocidade do vento e da depressão da temperatura do ar no bulbo úmido. Este segundo termo praticamente se elimina quando a velocidade do vento é baixa e/ou a umidade relativa é alta. Nesta situação então, especialmente a baixas temperaturas, tanto diurnamente quanto sazonalmente, o valor de R_n é quase igual a LE (calor latente de evaporação).

Todavia, quando a relação LE/R_n é bem abaixo de 1, a superfície estaria mais quente que o ar, criando condições instáveis que justificariam correções diabáticas significativas no processo aerodinâmico de medição da evaporação proposto por Thornthwaite-Holzman.

Vários pesquisadores vem tentando ajustar esta equação, não se conhecendo todavia um processo que torne a equação amplamente confiável sob diferentes condições climáticas.

Pruitt chega a afirmar que a equação, efetivamente, somente passa a ser confiável, para valores de intensidade de velocidade do vento, medido a cerca de 1,0 m acima da superfície foliar, iguais ou superiores a 4 m/s.

2 – PROCEDIMENTOS

O trabalho comportou vários estágios de cálculo, conforme se descreve a seguir:

I. Tratamento dos dados climáticos

1. Traçado dos perfis de velocidade dos ventos, umidade absoluta e temperatura do ar seco, para cada intervalo de 1 hora (*).
2. Traçado dos perfis de temperatura do solo e de superfície foliar, para cada intervalo de 1 hora.
3. Determinação do deslocamento do plano de velocidade do vento nula (d) e do coeficiente de rugosidade da superfície foliar (Z_0).

11. Cálculo de calor (G) e do fluxo de calor do ar (H), do ar (H)

1. Cálculo do Fluxo G:

$$G = G_{10} + C \cdot \frac{T - Z_{10}}{t}$$

Sendo:

G = fluxo de calor sensível para a atmosfera ou para o interior do solo, cal/cm². min;

(G₁₀) = fluxo de calor a 10 cm abaixo da superfície do solo cal/cm². min, (SHF), negativo se a coluna estiver perdendo calor para o interior do solo;

$\left(C \cdot \frac{T - Z_{10}}{t} \right)$ = fluxo de calor ao longo da coluna de solo Z (10 cm) durante o período de tempo t (30 min), cal/cm². 30 min (H).

Onde:

C = calor específico do complexo solo — água — ar, cal/cm³ °C;

T = temperatura média da coluna de solo (10 cm), °C;

t = intervalo de tempo de medição, igual a 30 min;

Z₁₀ = comprimento da coluna de solo, 10 cm.

T = Taxa de mudança da temperatura média da coluna de solo, durante o intervalo de tempo considerado, positiva se a coluna estiver recebendo calor da superfície.

E:

$$C = X_s C_s + X_w C_w + X_a C_a$$

Onde:

X_{s,w,a} = fração volumétrica de cada componente solo, água e ar na coluna de solo;

C_{s,w,a} = calor específico de cada componente solo, água e ar na coluna de solo;

Considerando X_aC_a = zero

Tem-se que:

$$C = X_a C_a + X_w C_w$$

2. Cálculo do Fluxo de Calor Sensível do Ar (H):

* Uma vez que as equações foram usadas na sua forma finita os perfis foram elaborados no sentido de analisar o comportamento das mesmas sob diferentes situações dos gradientes de umidade absoluta, velocidades do vento e temperatura do ar obtidos para um mesmo diferencial de altura ao longo do período de observação.

$$R_n + G + HLE = 0 \quad (2)$$

Sendo:

G = conforme determinado em (1);

R_n = radiação solar líquida medida em radiômetro;

LE = fluxo de calor latente, medido em lisímetro;

H = o termo restante da equação (2) e igual ao fluxo de calor sensível do ar.

III. Cálculo da Evapotranspiração segundo as várias equações

1. Equação Aerodinâmica de Thornthwaite-Holzman:

$$ET_1 = k_2 \frac{(U_2 - U_1) (q_2 - q_1)}{(z_2 - d) / (z_1 - d)^2} \quad (3)$$

L = densidade do ar, g/m³

k = constante de Von Karman, 0,42

d = deslocamento do plano de velocidade do vento nula, igual a 8 cm (gráfico nº 6)

U₂ = velocidade de vento cm/s, a uma altura Z₂ = 100 cm

U₁ = velocidade do vento, cm/s a uma altura Z₁ = 50 cm

q₂ = umidade do ar, g água/g ar, a altura Z₂

q₁ = umidade do ar, g/água/g ar, a altura Z₁

2. Processo Aerodinâmico Modificado:

2.1 Segundo Pruitt e Lourence

$$ET_2 = ET_1 (1 \pm 6 Ri) \quad (4)$$

Ri = número de Richardson, dado por

$$Ri = \frac{g/T_A (T_2 - T_1) (Z_2 - Z_1)}{(U_2 - U_1)^2} \quad (5)$$

ET₁ = evapotranspiração segundo a equação (3)

= constante obtida experimentalmente

g = aceleração da gravidade (980 cm/s)

T₂ e T₁ = temperaturas em °C às alturas Z₂ e Z₁, em cm (100 e 50 cm respectivamente)

T_A = temperatura absoluta, °K

U₂ e U₁ = velocidade do vento, cm/s, em Z₂ e Z₁

2.2 Segundo Panofski

$$ET_3 = ET_1 (1 \pm 18 Ri)^{3/4} \quad (6)$$

3. Equação de Dalton Modificada:

$$ET_4 = 0,29 \frac{C_{q_s} - C_{q_{25}}}{25 - d} \ln U_{25} \quad (7)$$

C_{q_s} = concentração de umidade saturada à temperatura da superfície foliar, g/m³;

C_{q25} = concentração real da umidade do ar a 25 cm acima do solo, g/m³;

d = deslocamento do plano de velocidade do vento nula (8 cm);

U_{25} = velocidade do vento, cm/s, a uma altura de 25 cm.

4. Método do Balanço Energético, segundo Bowen:

$$ET_5 = (R_n + G) \frac{1}{1 + B} \quad (8)$$

B = coeficiente de Bowen, dado por

$$B = \frac{C_p}{L} \times \frac{T_2 - T_1}{q_2 - q_1} \quad (9)$$

R_n = radiação solar líquida, cal/cm². min;

G = fluxo de radiação no solo, cal/cm². min;

C_p = calor específico do ar seco à pressão constante, 0,22 cal/g °C;

T_2 e T_1 = temperatura do ar, °C, à 100 e 50 cm de altura;

q_2 e q_1 = umidade específica do ar, g água/g ar, à 100 cm e 50 cm de altura.

5. Processo Combinatório, segundo McIlroy:

$$ET_6 = (R_n + G) \frac{s}{s + h} + h (D - D_o) \quad (10)$$

R_n = radiação solar líquida, cal/cm². min;

G = fluxo de calor no solo, cal/cm². min;

s = taxa de mudança de concentração de umidade do ar saturado em função da temperatura, mg (água) / mg ar, °F;

Y = constante psicrométrica, 0.235;

h = coeficiente determinado empiricamente referente a transferência aerodinâmica de massa de ar;

D = depressão do ar úmido, °F, a uma certa altura;

D_o = depressão do ar úmido, °F, na superfície vegetal.

Segundo Pruitt e Lourence, a equação de Thornthwaite-Holzman (3) somente se aplica sob condições adiabáticas e neste caso, para $K_w/K_m = 1,0$, onde

K_w = coeficiente de transferência turbulenta do vapor d'água, cm²/s;

K_m = coeficiente de transferência turbulenta para momentum, cm²/s.

Quando o aquecimento ou resfriamento da superfície produz um perfil não adiabático de temperatura, a relação linear de U (velocidade do vento) versus $\ln(z - d)$ (logaritmo neperiano da altura para medição de velocidade do vento corrigida do valor "d" correspondente ao deslocamento do plano $u = \text{zero}$), não se sustenta, principalmente sob condições calmas de clima.

Pruitt sugere então uma correção por meio da expressão $(1 \pm 50 R_i) \pm 1/2$ do que resulta na equação aerodinâmica modificada (4).

O termo R_i , denominado número de Richardson é um parâmetro de estabilidade, sendo negativo para condições instáveis e positivo para condições estáveis, e varia com a altura (equação 5).

Panofski adota um valor de 6 igual a 18, do que resulta a equação (6), sendo que o exponencial passa de $(\pm 1/2)$ para $(\pm 3/4)$.

A equação modificada de Dalton (7) é uma tentativa de aplicação do método aerodinâmico de Dalton, para medição da evapotranspiração, levando em conta a variável vento à altura de 25 cm, segundo Pruitt.

O coeficiente de Bowen (8) é um método de balanço energético onde se busca simplificar o uso da equação básica do balanço energético ($R_n + G + LE + H = 0$).

Embora R_n (radiação líquida) seja de fácil determinação e G seja geralmente muito pequeno para áreas com cobertura vegetal, a obtenção do valor de H (fluxo de calor sensível ou convectivo) é tão difícil a medição de LE (fluxo de calor latente ou evaporativo).

Tendo-se, portanto, os valores de R_n e G , pode-se fazer a partição entre LE e H por meio da expressão $LE \times (1 + B) = (R_n + G)$ obtida da equação (8), onde B é o coeficiente de Bowen e representa $\frac{H}{LE}$.

A limitação da equação de Bowen resulta do fato de que para $B \rightarrow -1,0$, $LE \rightarrow \infty$.

Pelo menos sob condições de dia claro, valores de B próximo a $-1,0$ devem ocorrer ao nascer e por do sol, porém como nestes períodos o valor de LE é relativamente desprezível, a limitação não é relevante.

McIlroy (equação 10) buscou uma nova combinação dos processos energéticos e aerodinâmicos, seguindo a proposição de Penman (1948) e Ferguson (1952). A equação compõe-se de dois termos sendo o primeiro de natureza energética e o segundo de natureza aerodinâmica.

Para determinação da evapotranspiração potencial, $D_0 = \text{zero}$.

3 – ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estão contidos nas tabelas a seguir. Os dados de medição constam do anexo.

3.1 – BALANÇO ENERGÉTICO

A tabela nº 1 demonstra os cálculos desenvolvidos para determinação do balanço energético através das equações (1) e (2).

A radiação líquida (Rn) começa com um fluxo negativo no intervalo de 5:30 às 6:00 porém permanece positivo pelo resto do dia. O fluxo de calor do solo (G) é negativo nos 4 primeiros e no último intervalo.

O fluxo de calor sensível do ar (H) é negativo no primeiro intervalo e durante parte do dia começando no intervalo 12:30 - 13:00, não tendo sido detectada qualquer condensação no período do teste.

TABELA Nº 1 – QUADRO DO BALANÇO ENERGÉTICO

Intervalo de tempo	T _{a-1} Ar 1 m do perímetro (°C)	ΔT _{a-1} 30 min	T _{s-1} Solo 1 m do perímetro (°C)	ΔT _{s-1} 30 min	T _{a-10} Ar 1 m do perímetro (°C)	ΔT _{a-10} 30 min	T _{s-10} Solo 1 m do perímetro (°C)	ΔT _{s-10} 30 min	$\frac{\Delta T}{T}$ (1y/min)	SHP (ly/min)	G (ly/min)	Rn (ly/min)	LE (ly/min)	H (ly/min)	Σ (ly/min)
05:30-06:00	23,3		23,5		23,5										
06:00-06:30	23,2	- 0,1	23,4	- 0,1	23,5	0,0	- 0,1	- 0,69	- 0,023	- 0,0003	0,0233	- 0,029	- 0,030	0,026	0,011
06:30-07:00	23,2	0,0	23,3	- 0,1	23,4	- 0,1	- 0,1	- 0,69	- 0,023	0	0,0230	0,062	- 0,030	- 0,033	
07:00-07:30	23,2	0,0	23,2	- 0,1	23,4	0,0	0,0	0,0	0,0	- 0,0007	0,0007	0,097	- 0,013	- 0,053	0,046
07:30-08:00	23,2	0,0	23,2	0,0	23,4	0,0	0,0	0,0	0,0	- 0,0013	0,0013	0,221	- 0,131	- 0,071	
08:00-08:30	23,3	0,1	23,3	0,1	23,4	0,0	0,1	0,69	0,023	- 0,0010	- 0,0230	0,321	- 0,212	- 0,087	0,216
08:30-09:00	23,5	0,2	23,3	0,0	23,4	0,0	0,1	0,69	0,023	- 0,0003	- 0,0237	0,420	- 0,364	- 0,053	
09:00-09:30	23,7	0,2	23,4	0,1	23,4	0,0	0,1	0,69	0,023	0,0007	- 0,0237	0,518	- 0,424	- 0,079	0,451
09:30-10:00	24,0	0,3	23,5	0,1	23,4	0,0	0,1	0,69	0,023	0,0017	- 0,0247	0,560	- 0,469	- 0,066	
10:00-10:30	24,5	0,3	23,7	0,2	23,4	0,0	0,2	1,38	0,046	0,0027	- 0,0247	0,608	- 0,530	- 0,059	0,531
10:30-11:00	24,6	0,3	23,9	0,2	23,5	0,1	0,2	1,38	0,046	0,0043	- 0,02503	0,727	- 0,591	- 0,086	
11:00-11:30	25,0	0,4	24,1	0,1	23,6	0,1	0,2	1,38	0,046	0,0067	- 0,0257	0,785	- 0,636	- 0,033	0,647
11:30-12:00	25,4	0,4	24,3	0,2	23,7	0,1	0,2	1,38	0,046	0,0093	- 0,02533	0,828	- 0,696	- 0,077	
12:00-12:30	25,9	0,4	24,6	0,3	23,8	0,1	0,3	2,07	0,069	0,0117	- 0,02507	0,854	- 0,726	- 0,047	0,735
12:30-13:00	26,2	0,4	24,9	0,3	24,0	0,2	0,3	2,07	0,069	0,0137	- 0,02627	0,859	- 0,772	- 0,064	
13:00-13:30	26,5	0,3	25,3	0,4	24,1	0,1	0,3	2,07	0,069	0,0157	- 0,02647	0,853	- 0,772	- 0,062	0,735
13:30-14:00	26,8	0,3	25,5	0,2	24,2	0,1	0,2	1,38	0,046	0,0177	- 0,02627	0,854	- 0,802	- 0,012	
14:00-14:30	26,9	0,1	25,7	0,2	24,4	0,2	0,2	1,38	0,046	0,0187	- 0,02647	0,825	- 0,802	- 0,042	0,786
14:30-15:00	27,0	0,1	25,8	0,1	24,5	0,1	0,1	0,69	0,023	0,0197	- 0,02627	0,767	- 0,772	- 0,048	
15:00-15:30	27,0	0,0	25,9	0,1	24,6	0,1	0,1	0,69	0,023	0,0200	- 0,02630	0,704	- 0,742	- 0,081	0,724
15:30-16:00	27,0	0,0	26,0	0,1	24,8	0,1	0,1	0,69	0,023	0,0197	- 0,02627	0,531	- 0,606	- 0,118	0,628
16:00-16:30	26,9	- 0,1	26,0	0,0	24,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0190	- 0,0197	0,430	- 0,543	- 0,126	
16:30-17:00	26,8	- 0,1	26,0	0,0	25,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0183	- 0,0183	0,337	- 0,513	- 0,196	0,521
17:00-17:30	26,7	- 0,1	25,0	0,0	25,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0173	- 0,0173	0,236	- 0,439	- 0,222	
17:30-18:00	26,5	- 0,2	26,6	0,0	25,1	0,0	- 0,1	- 0,69	- 0,023	0,0157	0,0073	0,117	- 0,288	- 0,164	0,233

$$(Rn) + (LE) + (G) + (H) = 0$$

$$(- 0,029) + (- 0,030) + (0,023) + (H) = 0$$

$$H = 0,036 \text{ ly/min}$$

Os cálculos demonstram que G e H foram os principais fornecedores de energia para satisfazer Rn e LE durante o primeiro intervalo do dia.

Para o segundo intervalo do dia, o solo ainda perdia calor para a superfície, porém o sol já havia iniciado a contribuir positivamente para o balanço energético, de modo que:

$$(R_n) + (G) = (LE) + (H)$$

$$H = 0,062 + 0,0233 - 0,030 = - 0,055 \text{ ly/min}$$

Agora, um fluxo de calor sensível está ocorrendo a partir da superfície do solo em conjunção com o fluxo de calor latente originado com a evapotranspiração.

O fluxo de calor do solo para a superfície cessou no intervalo 7:30 - 8:00, porém o suprimento de calor originário das camadas inferiores somente paralisou no intervalo de 8:30 - 9:00. No intervalo de 12:00 - 12:30 ocorreu uma inversão do fluxo de calor latente e finalmente no intervalo de 17:30 - 18:00 o quadro assume novo aspecto com R_n , G e H contribuindo efetivamente para a evapotranspiração, sendo que G somente parcialmente, pois a sua maior contribuição é para as camadas inferiores do solo.

O pico de radiação líquida (R_n) se dá no intervalo de 12:00 - 12:30; o valor de LE atinge seu pico em 13:00 - 13:30. Entre 13:45 - 14:15 LE supera R_n assim permanecendo pelo resto do dia.

3.2 – EQUAÇÃO DE THORNTHWAITE-HOLZMAN

A tabela nº 2 contém os cálculos resultantes da aplicação da equação (3) para determinação do ET_1 .

A equação tende a subestimar ET sob condições instáveis e neutras e a superestimá-la sob condições estáveis.

A grande discrepância observada no período de instabilidade é agravada pelas condições calmas de vento, sendo realmente atenuadas sob condições estáveis e de maior gradiente de velocidade dos ventos, embora com uma conseqüente superestimativa do valor de ET .

3.3 – PROCESSO AERODINÂMICO MODIFICADO

Na resolução da equação nº 4, o coeficiente de Richardson figura como um parâmetro de estabilidade, e é determinado tanto para temperaturas do bulbo seco como para temperaturas virtuais (ver tabelas nºs 3, 4 e 5).

O uso dos valores de temperatura virtual é preferível devido às mudanças de condição instável para estável observada ao longo do dia. A tabela nº 6 contém os valores de ET_2 segundo Pruitt e Lourence e de ET_3 , segundo Panofski.

Os resultados se equivalem. O fator de correção sugerido pelos autores parece reduzir a variabilidade dos resultados dados pela equação de Thornthwaite-Holzman, porém sérias subestimativas permanecem para a maior parte do dia. As melhores estimativas foram encontradas sob as condições estáveis verificadas ao fim do dia, e as estimativas mais fracas para as condições estáveis do início do dia. A subestimativa verificada para o intervalo de 6:30 - 7:00 na equação de Thornthwaite-Holzman foi na realidade agravada pelo uso do fator de correção sugerido pelos autores (Pruitt e Lourence, e Panofski).

3.4 – EQUAÇÃO DE DALTON MODIFICADA

A equação de Dalton Modificada (7), foi aplicada adotando tanto valores reais, quanto valores ajustados de umidade da superfície foliar.

A tabela nº 7 apresenta o desenvolvimento da equação para os dois casos.

A equação superestima ET sob condição instável e subestima-a sob condição estável. O uso de valores ajustados de q não melhora significativamente o quadro. A ocorrência de uma súbita queda de velocidade do vento nos perfis de 9:30 - 10:00 e 10:30 - 11:00 pareceu resultar em melhor desempenho da equação sob condições instáveis. O aumento de velocidade do vento verificado na parte da tarde igualmente corresponde às subestimativas verificadas sob condições estáveis. O melhor desempenho observa-se ao meio-dia sob condições de intenso gradiente de umidade a partir da superfície foliar até o nível de 25 cm acima desta.

TABELA Nº 2 – EQUAÇÃO DE THORNTHWITE – HOIZMAN

Intervalo de tempo	U_{100} cm/s	U_{50} cm/s	ΔU	ρ_{q100} g/m ³	ρ_{q50} g/m ³	$\Delta \rho_q$	$\Delta U \times \Delta \rho_q$	$\frac{\Delta U \cdot \Delta \rho_q}{0.615}$	$\left(\frac{\Delta U \cdot \Delta \rho_q}{0.615}\right) \times (-0.176)$	ET_1 mm/h	ET/ET_1
0530 0600	65	52	13	11.27	11.80	- 0.53	- 6.89	- 11.20	1.971	0.071	0.437
0630 0700	25	23	2	12.70	13.04	- 0.34	- 0.68	- 1.10	0.194	0.007	6.580
0730 0800	139	120	19	13.23	13.97	- 0.74	- 14.05	- 22.82	4.025	0.143	1.490
0830 0900	182	157	25	13.40	14.40	- 1.00	- 25.00	- 40.10	7.160	0.258	1.670
0930 1000	100	87	13	13.53	14.80	- 1.22	- 15.86	- 25.79	4.540	0.163	3.310
1030 1100	110	98	12	13.64	15.00	- 1.36	- 16.32	- 26.55	4.670	0.168	3.850
1130 1200	187	160	27	15.04	16.70	- 1.66	- 44.80	- 72.90	12.820	0.462	1.598
1230 1300	206	175	31	14.34	15.90	- 1.56	- 38.40	- 62.40	10.920	0.396	1.983
1330 1400	266	223	43	12.34	13.95	- 1.61	- 69.30	- 112.60	19.820	0.714	1.142
1430 1500	293	246	47	13.15	14.60	- 1.45	- 68.15	- 110.80	19.495	0.701	1.075
1530 1600	309	256	53	13.33	14.74	- 1.41	- 74.70	- 121.50	21.385	0.768	0.803
1630 1700	364	302	66	13.48	14.50	- 1.02	- 67.30	- 109.35	19.250	0.693	0.754
1730 1800	289	234	55	12.60	13.48	- 0.88	- 48.40	- 78.70	13.840	0.498	0.598

TABELA Nº 3 – TEMPERATURAS VIRTUAIS A 100 CM E 50 CM DE ALTURA DO SOLO (°C)

INTERVALO DE TEMPO	q_{100} $\frac{g \cdot água}{g \cdot ar}$	$q_{100} \times 0,61$	$(1 + 0,61q_{100})$	Td_{100} (°C)	Td_{100} (°C)	q_{50} $\frac{g \cdot água}{g \cdot ar}$	$q_{50} \times 0,61$	$(1 + 0,61q_{50})$	Td_{50} (°C)	Td_{50}^* (°C)
05:30 06:00	0.0094	0.00570	1.0060	19.23	19.34	0.0097	0.0060	1.0060	18.11	18.22
06:30 07:00	0.0106	0.00645	1.0064	21.71	21.85	0.0108	0.0066	1.0066	21.56	21.70
07:30 08:00	0.0112	0.00684	1.0068	23.86	26.04	0.0115	0.0072	1.0072	25.99	26.18
08:30 09:00	0.0114	0.00696	1.0070	29.40	29.61	0.0121	0.0074	1.0074	29.51	29.73
09:30 10:00	0.0118	0.00720	1.0072	32.20	32.43	0.0128	0.0078	1.0078	32.30	32.55
10:30 11:00	0.0119	0.00726	1.0073	33.98	34.23	0.0131	0.0080	1.0080	34.04	34.31
11:30 12:00	0.0132	0.00805	1.0081	34.88	35.16	0.0146	0.0089	1.0089	34.89	35.20
12:30 13:00	0.0125	0.00763	1.0076	35.73	36.00	0.0139	0.0085	1.0085	35.71	36.01
13:30 14:00	0.0108	0.00659	1.0066	35.92	36.16	0.0122	0.0074	1.0074	35.51	35.77
14:30 15:00	0.0115	0.00702	1.0070	36.49	36.75	0.0128	0.0078	1.0078	35.98	36.26
15:30 16:00	0.0117	0.00714	1.0071	36.84	37.10	0.0129	0.0079	1.0079	36.12	36.40
16:30 17:00	0.0118	0.00720	1.0072	35.28	35.53	0.0126	0.0077	1.0077	34.39	34.65
17:30 18:00	0.0109	0.00665	1.0067	32.88	33.10	0.0116	0.0071	1.0071	31.75	31.98

TABELA Nº 4 – NÚMERO DE RICHARDSON PARA TEMPERATURA DO BULBO SECO

INTERVALO DE TEMPO	T_{d100} (°C)	T_{d50} (°C)	ΔT_d (°C)	$\overline{T_d}$ (°C)	T_A (°K)	U_{100} (cm/s)	U_{50} (cm/s)	ΔU (cm/s)	$(\Delta U)^2$	c/T_A	$\Delta T_d/(\Delta U)^2$	$(\Delta T_d/\Delta U)^2 \times c/T_A$	R_1
0530 0600	19.23	18.11	1.12	18.67	291.67	65	57	14	196	3.360	0.00572	0.01922	0.9610
0630 0700	21.71	21.56	0.15	21.64	294.64	25	23	2	4	3.326	0.03750	0.12470	6.2350
0730 0800	25.86	25.99	- 0.13	25.93	298.93	139	120	19	361	3.278	- 0.00036	- 0.00118	- 0.0390
0830 0900	29.40	29.51	- 0.11	29.46	302.46	182	157	25	625	3.240	- 0.00018	- 0.00058	- 0.0290
0930 1000	32.20	32.30	- 0.10	32.25	305.25	100	87	13	169	3.210	- 0.00059	- 0.00189	- 0.0945
1030 1100	33.98	34.04	- 0.06	34.01	307.01	110	98	12	144	3.192	- 0.00042	- 0.00134	- 0.0670
1130 1200	34.88	34.89	- 0.01	34.89	307.89	187	160	27	729	3.183	- 0.00001	- 0.00003	- 0.0015
1230 1300	35.73	35.71	+ 0.02	35.72	308.72	206	173	31	961	3.174	- 0.00002	- 0.00006	- 0.0003
1330 1400	35.92	35.51	0.41	35.72	308.72	266	223	43	1849	3.174	0.00022	+ 0.00070	0.0350
1430 1500	36.49	35.98	0.51	36.24	309.24	293	246	47	2209	3.170	0.00023	0.00073	0.0370
1530 1600	36.84	36.12	0.72	36.48	309.48	309	256	53	2809	3.167	0.00026	0.00082	0.0410
1630 1700	35.28	34.39	0.89	34.84	307.84	368	302	66	4356	3.183	0.00020	0.00064	0.0320
1730 1800	32.88	31.75	1.13	32.32	303.32	289	234	55	3025	3.210	0.00037	0.00120	0.0600

TABELA Nº 5 – NÚMERO DE RICHARDSON PARA TEMPERATURAS VIRTUAIS

INTERVALO DE TEMPO	T_{d100}^* (°C)	T_{50}^* (°C)	ΔT^* (°C)	$\bar{T}^*$ (°C)	T_A^* (°K)	U_{100} (cm/s)	U_{50} (cm/s)	ΔU (cm/s)	$(\Delta U)^2$	$U/\bar{T}_A^*$	$\Delta T^*/(\Delta U)^2$	$(\Delta T^*/\Delta U)^2 \times U/\bar{T}_A^*$	R_L
05:00 06:00	19.34	18.22	+ 1.12	18.78	291.78	65	52	13	169	3.359	0.006630	0.02227	1.1140
06:00 07:00	21.85	21.70	+ 0.15	21.78	294.78	25	23	2	4	3.325	0.037500	0.12468	6.2340*
07:00 08:00	26.04	26.18	- 0.14	26.11	299.11	129	120	9	361	3.276	0.000388	0.001271	- 0.0035
08:00 09:00	29.61	29.73	- 0.12	29.67	302.67	182	157	25	625	3.238	0.000190	0.00062	- 0.0310
09:00 10:00	32.43	32.55	- 0.12	32.49	305.49	100	87	13	169	3.208	0.000710	0.00228	- 0.1140
10:00 11:00	34.23	34.31	- 0.08	34.27	307.27	110	98	12	144	3.189	0.000560	0.00179	- 0.0025
11:00 12:00	35.16	35.20	- 0.04	35.18	308.18	187	160	27	729	3.180	0.000060	0.00020	- 0.0100
12:00 13:00	36.00	36.01	- 0.01	36.01	309.01	206	175	31	961	3.171	0.000010	0.00003	- 0.0015
13:00 14:00	36.16	35.77	+ 0.39	35.97	308.97	206	223	43	1849	3.172	0.000210	0.00067	0.0335
14:00 15:00	36.75	36.26	+ 0.49	36.51	309.51	293	246	47	2209	3.166	0.000220	0.00070	0.0350
15:00 16:00	37.10	36.40	+ 0.70	36.75	309.75	309	256	53	2809	3.164	0.000250	0.00079	0.0395
16:00 17:00	35.53	34.65	+ 0.88	35.09	308.09	368	302	66	4356	3.183	0.000200	0.00064	0.0320
17:00 18:00	33.10	31.98	+ 1.12	32.54	305.54	289	234	55	3025	3.207	0.000370	0.00119	0.0595

TABELA Nº 6 – PROCESSO AFRODINÂMICO MODIFICADO

PRUITT & LOURENCE, 1966

INTERVALO DE TEMPO	R1	50.R1	$1 \pm 50R1$	$(1 \pm 50R1)^{-1/2}$	ET_1 mm/h	ET_2 mm/h	ET/ET_2	18.R1	$(1 \pm 18R1)$	$(1 \pm 18R1)^{-3/4}$	ET_1 mm/h	ET_3 mm/h	ET/ET_3
0530 0600	1.114	55.700	56.700	7.530	0.071	0.0094	3.310	20.052	21.052	9.450	0.071	0.0075	4.138
0650 0700	6.2340	311.700	312.700	17.684	0.007	0.00004	1.115	112.21	113.21	34.600	0.007	0.00002	2.230
0730 0800	- 0.0635	3.175	4.175	2.043	0.145	0.296	0.731	1.143	2.143	1.771	0.145	0.256	0.844
0830 0900	- 0.0310	1.525	2.525	1.589	0.258	0.410	1.052	0.549	1.549	1.390	0.258	0.359	1.201
0930 1000	- 0.1140	5.700	6.700	2.588	0.163	0.422	1.278	2.052	3.052	2.310	0.163	0.377	1.431
1030 1100	- 0.0895	4.475	5.475	2.340	0.168	0.393	1.647	1.611	2.611	1.510	0.168	0.254	2.530
1130 1200	- 0.0100	0.500	1.500	1.225	0.462	0.566	1.305	0.180	1.180	1.130	0.462	0.522	1.215
1230 1300	- 0.0015	0.075	1.075	1.037	0.396	0.411	1.910	0.027	1.027	1.020	0.396	0.404	1.944
1330 1400	0.0335	1.675	2.675	1.635	0.714	0.437	1.890	0.603	1.603	1.420	0.714	0.503	1.642
1430 1500	0.0350	1.750	2.750	1.658	0.701	0.423	1.785	0.630	1.630	1.440	0.701	0.487	1.549
1530 1600	0.0395	1.975	2.975	1.725	0.768	0.445	1.385	0.711	1.711	1.500	0.768	0.512	1.204
1630 1700	0.0320	1.600	2.600	1.612	0.693	0.430	1.220	0.576	1.576	1.410	0.693	0.491	1.068
1730 1800	0.0595	2.975	3.975	1.994	0.498	0.250	1.168	1.071	2.071	1.726	0.498	0.289	1.010

TABELA Nº 7 – EQUAÇÃO MODIFICADA DE DALTON COM VALORES REAIS E AJUSTADOS DE UMIDADE FOLIAR

INTERVALO DE TEMPO	e_{qs}	e_{q25}	Δe_q	$\frac{\Delta e_q}{25-d}$	U_{25}	$\frac{U_{25}}{10}$	$10e \frac{U_{25}}{10}$	U_{25} $1n \frac{25}{10}$	$(\frac{\Delta e_q}{25-d}) \cdot 1n \frac{V_{25}}{10}$	ET_4	ET/ET_4	e_{qs}^*	Δe_q^*	$\frac{\Delta e_q^*}{25-d}$	$(\frac{\Delta e_q^*}{25-d}) \cdot 1n \frac{V_{25}}{10}$	ET_4^*	ET/ET_4^*
0530 0600	13.00	12.09	0.91	0.0535	32	2.00	0.3010	0.693	0.037	0.011	2.820	13.00	0.91	0.0535	0.037	0.011	2.820
0630 0700	15.20	13.57	4.63	0.2723	22	1.38	0.1399	0.322	0.088	0.026	1.770	17.30	2.73	0.2193	0.071	0.021	2.190
0730 0800	23.80	15.41	8.39	0.4935	94	5.88	0.7694	1.772	0.875	0.254	0.851	23.80	8.39	0.4935	0.875	0.254	0.851
0830 0900	30.00	15.61	14.39	0.6470	107	6.69	0.8254	1.901	1.625	0.471	0.915	30.90	15.29	0.9000	1.710	0.496	0.887
0930 1000	38.60	18.18	20.42	1.2012	68	4.25	0.6284	1.447	1.738	0.504	1.069	38.60	20.42	1.2012	1.738	0.504	1.069
1030 1100	43.20	18.25	24.95	1.4676	78	4.88	0.6884	1.585	2.326	0.674	0.959	42.80	24.55	1.4440	2.290	0.664	0.974
1130 1200	42.10	20.50	22.60	1.3500	127	7.94	0.8998	2.072	2.755	0.798	0.926	43.80	23.30	1.3700	2.830	0.821	0.899
1230 1300	42.60	18.78	23.82	1.4011	134	8.38	0.9232	2.126	2.978	0.864	0.910	41.80	23.02	1.3550	2.880	0.835	0.941
1330 1400	38.20	18.25	19.95	1.1735	169	10.56	1.0237	2.358	2.768	0.803	1.016	33.20	19.95	1.1735	2.768	0.803	1.016
1430 1500	30.50	18.22	12.28	0.7223	186	11.62	1.0653	2.453	1.772	0.514	1.466	33.40	15.18	0.8930	2.185	0.634	1.189
1530 1600	29.60	17.28	12.32	0.7247	193	12.06	1.0813	2.490	1.805	0.524	1.175	28.50	11.22	0.6610	1.645	0.477	1.220
1630 1700	24.50	16.68	7.82	0.4600	231	14.44	1.1596	2.670	1.228	0.356	1.472	23.90	7.22	0.4600	1.228	0.356	1.472
1730 1800	22.00	15.24	6.36	0.3741	179	11.19	1.0487	2.415	0.904	0.262	1.118	22.00	6.36	0.3741	0.904	0.262	1.118

TABELA Nº 8 – PROCESSO DO COEFICIENTE DE BOWEN

INTERVALO DE TEMPO	T _{d50} (°C)	D ₅₀ g/m ³	T _{d100} (°C)	D ₁₀₀ g/m ³	ΔT _d	q ₅₀ g/m ²	q ₅₀	q ₁₀₀ g/m ²	q ₁₀₀	Δq	T _d /Δq	β	1+β	$\frac{1}{1+\beta}$	Rn+0	ET ₅ Jy/min	ET ₅ mm/h	ET/LT ₅
0500 0600	18.11	1.213	19.23	1.207	1.12	11.80	0.0097	11.27	0.0093	- 0.0004	- 2,800	- 1.140	- 0.14	- 7.14	- 0.006	0.043	0.044	0.622
0600 0700	21.56	1.200	21.71	1.197	0.15	13.04	0.0109	12.70	0.0106	- 0.0003	- 500	- 0.204	0.796	1.258	0.098	0.123	0.123	0.373
0700 0800	25.99	1.180	25.86	1.181	- 0.13	13.97	0.0118	13.23	0.0112	- 0.0006	217	0.088	1.088	0.919	0.299	0.273	0.280	0.772
0800 0900	29.51	1.167	29.40	1.170	- 0.11	14.40	0.0121	13.40	0.0114	- 0.0007	157	0.064	1.064	0.940	0.494	0.464	0.472	0.914
0900 1000	32.30	1.155	32.20	1.155	- 0.10	14.80	0.0128	13.58	0.0118	- 0.0010	100	0.041	1.041	0.961	0.619	0.593	0.606	0.892
1000 1100	34.04	1.150	33.98	1.150	- 0.06	15.00	0.0131	13.64	0.0119	- 0.0012	50	0.020	1.020	0.980	0.732	0.717	0.729	0.887
1100 1200	34.69	1.146	34.88	1.146	- 0.01	16.70	0.0146	15.04	0.0132	- 0.0014	7.2	0.003	1.003	0.997	0.773	0.771	0.784	0.931
1200 1300	35.71	1.143	35.73	1.143	0.02	15.90	0.0139	14.34	0.0123	- 0.0014	- 14.3	- 0.006	0.994	1.007	0.770	0.773	0.788	0.997
1300 1400	35.51	1.144	35.92	1.142	0.41	13.95	0.0122	12.34	0.0108	- 0.0014	- 293	- 0.012	0.988	1.010	0.760	0.768	0.781	1.043
1400 1500	35.98	1.142	36.49	1.140	0.51	14.60	0.0128	13.15	0.0113	- 0.0013	- 392	- 0.160	0.840	1.190	0.661	0.787	0.800	0.943
1500 1600	36.12	1.142	36.84	1.139	0.72	14.74	0.0129	13.33	0.0117	- 0.0012	- 600	- 0.244	0.756	1.240	0.488	0.644	0.653	0.840
1600 1700	34.39	1.148	35.28	1.145	0.89	14.50	0.0126	13.48	0.0118	- 0.0008	- 1,112	- 0.452	0.548	1.823	0.219	0.583	0.592	0.807
1700 1800	31.75	1.158	32.88	1.154	1.13	13.48	0.0116	12.60	0.0109	- 0.0007	- 1,614	- 0.657	0.343	2.920	0.124	0.362	0.368	0.820

TABELA Nº 9 – EQUAÇÃO DE McILROY

INTERVALO DE TEMPO	T_{d100} (°C)	T_{d100} (°F)	T_{w100} (°C)	T_{w100} (°F)	ΔT (°F)	U_{100} m/s	$1+U_{100}$	$0.002(1+U_{100})$	$\Delta T[0.002(1+U_{100})]$	T_{w100} (°C)	T_R (°C)	$\bar{T}$ (°C)	$\bar{T}_w$ (°F)	$s/\Delta + \gamma$	$(Rn+G)$	$(s/\Delta + \gamma)(Rn+G)$	ET_6 1y/24h	ET_C mm/h	ET/ET_C
0530 0600	19.2	66.55	15.9	60.62	5.93	0.65	1.65	0.00330	0.0196	15.9	15.2	15.6	60.80	0.625	-0.006	0.0038	0.0138	0.016	1.933
0630 0700	21.7	71.06	18.0	64.40	6.66	0.25	1.25	0.00250	0.0167	18.0	20.9	19.5	67.18	0.670	0.028	0.0657	0.0824	0.084	0.548
0730 0800	23.9	75.02	19.5	67.10	11.52	1.39	2.39	0.00478	0.0351	19.5	23.6	22.6	72.68	0.707	0.299	0.2120	0.2670	0.272	0.796
0830 0900	29.4	84.92	21.0	69.80	15.12	1.82	2.82	0.00564	0.0853	21.0	29.8	25.4	77.72	0.739	0.494	0.3650	0.4503	0.458	0.940
0930 1000	32.2	89.96	21.7	71.02	18.94	1.00	2.00	0.00400	0.0758	21.7	34.5	28.1	82.58	0.769	0.619	0.4760	0.5518	0.562	0.93
1030 1100	34.0	93.20	22.2	71.96	21.24	1.10	2.10	0.00420	0.0892	22.2	36.7	29.2	84.56	0.780	0.732	0.5700	0.6392	0.670	0.900
1130 1200	34.9	94.82	23.9	75.02	19.80	1.87	2.87	0.00574	0.1137	23.9	36.2	30.1	86.18	0.790	0.773	0.6100	0.7234	0.736	1.002
1230 1300	35.7	96.26	23.3	73.94	22.32	2.06	3.06	0.00612	0.1366	23.3	36.4	29.9	85.82	0.775	0.770	0.5960	0.7326	0.745	1.032
1330 1400	35.9	96.62	22.8	73.04	23.58	2.66	3.66	0.00732	0.1726	22.8	34.3	28.6	83.48	0.770	0.760	0.5850	0.7576	0.771	1.018
1430 1500	36.5	97.70	23.4	74.12	23.58	2.93	3.93	0.00786	0.1853	23.4	30.1	26.8	80.24	0.751	0.661	0.4960	0.6813	0.693	1.088
1530 1600	36.9	98.42	23.3	73.94	24.48	3.09	4.09	0.00818	0.2002	23.3	29.5	26.4	79.52	0.749	0.488	0.3650	0.5652	0.574	1.072
1630 1700	35.3	95.54	23.0	73.40	22.14	3.68	4.68	0.00936	0.2072	25.0	26.1	24.6	76.28	0.729	0.319	0.2320	0.4392	0.447	1.172
1730 1800	32.9	91.22	21.5	70.70	20.52	2.89	3.89	0.00778	0.1600	21.5	24.2	22.9	73.22	0.710	0.124	0.0880	0.2480	0.252	1.164

3.5 – COEFICIENTE DE BOWEN

A equação de Bown (8) embora classificada dentro do método do balanço energético, permite a determinação da evapotranspiração sem utilizar os dados de (G) e (LE).

Os valores de (9) aproximaram-se de zero ao meio-dia. As melhores estimativas de ET, embora superestimadas, foram obtidas para a maior parte do dia, porém valores de ϵ menor que - 1,0 resultaram em valores mais superestimados de evapotranspiração nos períodos extremos do dia (tabela nº 8).

A superestimativa na parte da manhã parece se relacionar com a reduzida velocidade do vento, porém muito mais com o gradiente de umidade se aproximando das condições de neutralidade.

Sempre que o gradiente de umidade aproxima-se de zero a equação mostrou maior tendência para superestimar o valor de evapotranspiração.

3.6 – EQUAÇÃO DE MCLLROY

A tabela nº 9 contém os dados resultantes do desenvolvimento da equação de Mcllroy (10).

O valor de D_0 foi considerado igual a zero para determinar o que se poderia considerar como evapotranspiração potencial.

Verifica-se, que as maiores subestimativas ocorreram no primeiro período do dia, quando tanto a magnitude quanto o gradiente de temperatura entre a superfície da cobertura vegetal e a altura de 100 cm eram mínimos. O mesmo sucedeu a tarde em razão direta do aumento da velocidade do vento, atingindo a maior discrepância no intervalo de 16:30 - 17:30. Durante o período estável do dia o padrão de desempenho da equação foi menos detectável. Subestimativa no primeiro período da manhã foi seguida de sérias superestimativas que pareceram guardar certa relação com a variação na intensidade do vento.

A equação, basicamente, superestimou ET na parte da manhã, subestimando-o no período da tarde, a melhor estimativa ficando em torno de 11:30 - 12:00 quando a temperatura média no bulbo úmido, a temperatura na folhagem da grama e o valor de $(R_n + G)$ eram máximos.

Note-se todavia, que a equação de Mcllroy apresenta relativamente boa aproximação dos valores de ET na maior parte do período.

4 -- SUMÁRIO E CONCLUSÕES

O presente trabalho consiste no uso de várias equações racionais para determinação da evapotranspiração, e a comparação dos valores obtidos com aqueles resultantes de medição com lisímetro. O tempo de medição é de apenas um período diurno, porém com decomposição em intervalos de 1 hora, de modo a permitir a análise das diversas equações sob condições variáveis dos gradientes de temperatura, umidade absoluta e velocidade dos ventos a uma determinada faixa de altura. O trabalho inclui, ainda, um estudo de balanço energético para o mesmo período. Os dados utilizados foram obtidos da estação hidrometeorológica do Campus de Cavis, Universidade da Califórnia (E.E.U.U.) e as equações usadas foram as seguintes:

1. Método Aerodinâmico

- a — Equação de Thornthwaite-Holzman (1939)
- b — Processo aerodinâmico modificado
 - b.1 Pruitt e Lourence (1963)
 - b.2 Panofski (1963)
- c — Equação modificada de Dalton (Pruitt)
 - c.1 Usando valores reais de umidade na superfície foliar (1963)
 - c.2 Usando valores resultantes de uma curva ajustada (1963)

2. Método do Balanço Energético

Processo do coeficiente de Bown (1926)

3. Método Combinatório

Equação de McIlroy (1961)

O trabalho representa um esforço de análise das diversas equações, porém de forma limitada pois se refere a dados de apenas um período diurno. Todavia, o sentido analítico do trabalho é amplo, pois permite detectar a complexidade envolvida na manipulação e interpretação dos dados climáticos, bem como o esforço necessário para se chegar a uma adequada estimativa desta importante fase do ciclo hidrológico.

As conclusões preliminares a que se chega neste trabalho são da seguinte natureza, baseadas na comparação dos valores calculados com aqueles medidos diretamente em lisímetro.

- Equação de Thornthwaite-Holzman não ofereceu confiabilidade sob as condições climatológicas normais; observadas no dia de medição; as modificações propostas por Pruitt e Lorraine, e Panofski, não chegaram a melhorar significativamente a sua confiabilidade.
- A equação modificada de Dalton ofereceu resultados relativamente satisfatórios.
- O processo do coeficiente de Bowen demonstrou ser satisfatório para valor de γ maior que -1,0.
- A equação combinatória de McIlroy sofreu sensível influência do padrão de comportamento do vento, superestimando os valores de evapotranspiração na parte calma do dia (pela manhã) e subestimando-a na parte da tarde quando a velocidade do vento aumentava continuamente, porém os desvios são relativamente baixos.

NOTAS ALUSIVA AOS DADOS CLIMATOLÓGICOS

- Evapotranspiração (LE) medida em lisímetro de balança de alta sensibilidade, de 6 m de diâmetro, coberto com grama perene (ryegrass), aparada freqüentemente para conservar uma altura máxima de 10 cm; profundidade do solo no lisímetro igual a 90 cm.
- Suprimento de água de irrigação por meio de sistema de aspersão operando para irrigar a cada depleção de 7,6 cm de um total de 15 cm de água disponível no solo do lisímetro.
- Área tampão do lisímetro de cerca de 6 ha, plantado com grama perene (ryegrass) igualmente aparada até 10 cm e irrigada por aspersão.
- Radiação líquida (R_n) medida por meio de radiômetro de ventilação forçada montado a 2 m acima da superfície foliar, com registro contínuo.
- Fluxo sensível de calor (G) para fora ou para o interior do perfil do solo medido com 3 placas calorimétricas situadas a 1 cm abaixo da superfície do solo do lisímetro.
- Temperatura do ar medida em 10 alturas, entre 25 e 600 cm acima do solo, por meio de termômetros de aspiração protegidos contra a radiação solar direta.
- Temperatura da superfície foliar medida por células termostáticas instaladas dentro da massa verde em três posições: no ápice, no meio e na base da folha ou por intermédio de termômetro de radiação, localizado 3 metros acima da superfície foliar e "cobrindo" um círculo de grama de cerca de 1 metro de diâmetro ($IR^{\circ}C$). γ o diâmetro ($IR^{\circ}C$).
- Velocidade do vento medidas em 10 alturas entre 25 e 600 cm acima do solo, por meio de anemômetros totalizadores de Thornthwaite.
- Temperatura do solo a 6 profundidades entre - 1 e - 90 cm, por meio de geotermômetros.
- Umidade absoluta do ar ao nível da superfície foliar obtida admitindo saturação da superfície.

5 – BIBLIOGRAFIA

- 1 — Bown, I.S. — The Ratio of Heat Losses by Conduction and Evaporation from Any Water Surface. Physical Rev. 27: 779-89, 1926.
- 2 — Holzman, B. — The Influence of Stability on Evaporation. Ann. New York Acad. Sci. 44: 13-18, 1943.
- 3 — Investigation of Energy and Mass Transfer Near the Ground Including the Influences of the Soil — Plant — Atmosphere System. Final Report — June 1963. U. C. DAVIS, U.S.A.

- 4 – Pasquill, F. – Eddy Diffusion of Water Vapor and Heat Near the Ground. Proc. Royal Soc. London. A. 198.116-40, 1949.
- 5 – Priestley, C.M.B. – Turbulent Transfer in the Lower Atmosphere. The University of Chicago Press – Chicago and London, 1959.
- 6 – Pruitt, W.O. and F. J. Lourence – Tests of Aerodinamic, Energy Balance and Other Evaporation Equations Over a Grass Surface U.C. Davis – U.S.A., 1966.
- 7 – Richardson, L.F. – The Supply of Energy From and To Atmosphere Eddies. Proc. Roy. Soc. London, A, 97: 354-73.
- 8 – Sellers, Willian D. – Physical Climatology – The University of Chicago Press – Chicago and London, 1965.
- 9 – Slatyer, R.O. and J.C. McIlroy – Practical Microclimatology CSIRO. Australia (UNESCO), 1961.
- 10 – Thornthwaite, C.W. and B. Holzman – The Determination of Evaporation from Land and Water Surfaces – Monthly Weather Review 67: 4-11, 1939.

TABELA Nº I
TERMOS DO BALANÇO DE RADIAÇÃO (MEDIDOS)
(cal/cm².min)

TEMPO AO FIM DO PERÍODO	$R_s=Q+q$	q	$(Q+q)r$	$100x_1$	R_n B+W	R_n CSIRO	R_n B-W	INCIDÊNCIA NORMAL
0600	.024	.025	.015	62.5	-	-.029		.007
0624	.147	.079	.062	42.2	-	.062		.444
0700	.199	.076	.073	36.7	-	.097		.484
0730	.371	.097	.101	27.2	-	.221		.846
0800	.502	.111	.151	30.1	-	.321		.949
0830	.635	.118	.172	27.1	-	.420		1.025
0900	.763	.128	.193	25.3	-	.518		1.066
0930	.870	.135	.210	24.1	-	.560		1.110
1000	.971	.135	.212	21.8	-	.668		1.151
1030	1.068	.138	.235	22.0	-	.727		1.175
1100	1.115	.137	.241	21.6	-	.785		1.183
1130	1.146	.287	.247	21.6	-	.828		1.177
1200	1.177	.148	.249	21.2	-	.854		1.190
1230	1.185	.141	.250	21.1	-	.859		1.200
1300	1.168	.138	.247	21.2	-	.855		1.205
1330	1.136	.133	.243	21.4	-	.854		1.209
1400	1.085	.128	.189	17.4	-	.825		1.204
1430	1.014	.126	.227	22.4	-	.767		1.186
1500	.922	.130	.214	23.2	-	.704		1.143
1530	.821	.123	.199	24.2	-	.601		1.108
1600	.719	.113	.184	25.6	-	.531		1.086
1630	.600	.104	.161	26.8	-	.439		1.039
1700	.475	.096	.134	28.2	-	.337		.960
1730	.350	.085	.107	30.6	-	.234		.839
1800	.194	.072	.073	37.6	-	.117		.728

TABELA Nº II – DADOS CLIMÁTICOS MEDIDOS

HORARIO O DIA DO MÊS	TEMPERATURA DO SOLO, °C						TEMPERATURA DA FOLHA, °C			TEMPERATURA DO BULBO SECO, Td o TEMPERATURA DO BULBO ÚMIDO, Tw - °C																			
	-30	-20	-10	-5	-1		5	10	15	25		35		50		70		100		140		200		280		600		1100	
										td	tw	td	tw	td	tw	td	tw	td	tw	td	tw	td	tw	td	tw	td	tw	td	tw
0500											td	tw	td	tw	td	tw	td	tw	td	tw	td	tw	td	tw	td	tw	td	tw	
0600	23.7	22.0	23.4	23.5	23.4	23.3	15.6	15.2	15.2	17.1	15.7	17.4	15.8	17.9	15.3	18.5	16.4	19.4	15.9	19.8	15.9	20.3	15.9	20.6	16.2	20.9	16.0	21.1	16.0
0624	20.7	22.0	23.4	23.5	23.4	23.2	22.8	19.7	18.9	19.6	17.5	19.6	17.5	19.8	17.4	19.8	16.7	20.0	17.0	20.2	16.9	20.2	16.7	20.3	17.1	20.6	16.4	20.7	16.4
0700	20.7	22.1	23.3	23.4	23.3	23.2	24.1	21.8	20.9	21.3	18.5	20.6	17.4	21.7	18.0	21.7	18.1	21.7	18.0	21.7	17.9	21.8	17.8	21.7	18.5	21.9	17.3	21.9	17.0
0730	20.5	21.8	23.1	23.2	23.1	23.0	25.3	24.8	25.2	23.8	19.2	23.3	19.0	23.7	18.7	23.8	18.6	23.6	18.4	23.6	18.3	23.6	18.3	23.6		23.5	18.0	22.9	17.4
0800	20.7	22.1	23.3	23.4	23.3	23.3	26.6	26.1	25.6	26.2		26.1	20.5	26.0	20.0	26.1	19.9	25.9	19.5	25.9	19.4	26.0	19.5	25.9		25.8	18.9	25.9	18.6
0830	20.8	22.1	23.3	23.4	23.3	23.4	28.3	27.4	27.2	27.8	21.9	27.8	21.6	27.6	21.2	27.9	21.1	27.5	20.6	27.5	20.4	27.6	20.3	27.4		27.3	19.8	27.1	19.6
0900	20.8	22.2	23.3	23.4	23.4	23.7	28.9	28.4	29.8	29.6	22.5	29.6	22.2	29.5	21.6	29.7	21.7	29.4	21.0	29.9	20.9	29.6	20.6	29.4		29.3	20.2	29.0	19.9
0930	20.8	22.1	23.3	23.4	23.5	23.8	30.5	30.3	31.5	31.3	23.2	31.3	22.8	30.8	22.1	31.4	22.2	30.9	21.5	30.9	21.3	31.0	21.1	30.8		30.6	20.6	30.3	20.3
1000	20.8	22.1	23.2	23.4	23.6	24.1		31.1	34.5	32.8	23.6	32.8	23.1	32.2	22.3	32.9	22.5	32.2	21.7	32.2	21.5	32.3	21.3	32.1		31.8	20.9	31.5	20.5
1030	20.8	22.1	23.3	23.4	23.8	24.5	36.2	32.3	35.6	33.7	23.8	33.8	23.4	33.6	22.6	33.8	22.6	33.2	21.9	33.3	21.8	33.3	21.6	33.1		33.0	21.1	32.8	20.6
1100	20.9	22.2	22.8	23.6	24.2	25.0	38.5	32.8	36.7	34.2	24.1	34.2	23.7	33.9	22.9	34.2	23.2	33.8	22.2	33.9	22.1	33.8	21.9	33.7		33.6	21.5	33.4	21.4
1130	20.8	22.2	23.3	23.6	24.3	25.3	40.2	32.7	36.9	34.6	25.7	34.6	25.2	34.3	24.4	34.5	24.1	34.2	23.5	34.3	23.2	34.2	22.9	34.2		34.1	22.4	33.9	22.2
1200	20.5	21.9	22.5	24.2	24.3	25.4	43.9	33.0	36.2	34.8	26.1	34.9	25.6	34.7	24.8	34.9	24.6	34.8	23.9	34.9	23.5	34.7	23.1	34.9		34.8	22.4	34.8	22.3
1230	20.8	22.1	23.3	23.8	24.8	26.0	44.6	32.9	36.6	35.1	25.9	35.2	25.4	35.0	24.5	35.3	24.3	35.2	23.5	35.2	23.1	35.2	22.7	35.3		35.2	22.0	35.1	21.8
1300	20.9	22.3	24.0	24.0	25.2	26.4	43.3	32.2	36.4	35.3	25.5	35.6	25.1	35.6	24.2	35.7	24.0	35.6	23.3	35.7	22.4	35.7	22.6	35.7		35.9	21.8	35.6	21.7
1330	20.9	22.3	23.5	23.6	25.4	26.7	41.5	31.3	34.3	35.1	25.4	35.5	25.0	35.5	24.2	35.6	24.0	35.7	23.3	35.8	22.8	35.9	22.5	36.0		36.3	21.8	36.0	21.7
1400	20.8	22.2	23.4	24.3	25.5	26.8	40.5	30.8	34.3	34.9	24.7	35.4	24.5	35.5	23.7	35.7	23.5	35.8	22.8	36.0	22.3	36.1	22.0	36.3		36.8	21.2	36.4	21.2
1430	20.8	22.2	23.5	24.4	25.7	26.9	39.3	30.3	31.9	35.2	24.7	35.7	24.4	35.8	23.6	36.0	23.4	36.2	22.8	36.4	22.3	36.6	22.0	36.7		37.4	21.8	37.0	21.3
1500	20.8	22.2	23.6	24.6	25.9	27.0	38.6	30.1	30.1	35.3	25.0	35.8	24.7	35.9	24.0	36.2	23.9	36.4	23.4	36.7	22.9	36.9	22.7	37.1		37.9	23.0	37.4	21.9
1530	20.6	22.0	23.4	24.4	25.7	26.7	38.1	29.5	29.6	35.4	24.9	35.9	24.7	36.2	24.1	36.4	24.0	36.7	23.6	37.0	23.2	37.3	23.0	37.5		38.2		37.8	22.4
1600	20.6	22.0	23.5	24.5	25.8	26.7	37.2	29.0	29.5	35.2	24.7	35.7	24.5	36.0	23.9	36.4	23.9	36.7	23.3	37.1	23.0	37.5	22.8	37.7		38.4		38.0	22.4
1630	20.8	22.2	23.8	24.9	26.0	26.9	36.2	29.0	28.0	35.0	24.5	35.5	24.3	35.8	23.8	36.2	23.8	36.6	23.4	37.0	23.1	37.3	23.0	37.6		38.3		38.2	22.5
1700	20.8	22.2	23.8	24.9	26.0	26.8	34.3	27.6	26.1	35.5	23.7	34.0	23.7	34.3	23.2	34.8	23.3	35.2	23.0	35.7	22.3	36.1	22.8	36.5		37.2		37.3	22.2
1730	20.8	22.2	23.9	25.0	26.1	26.8	33.7	26.4	24.7	32.4	22.7	32.9	22.6	33.2	22.3	33.7	22.5	34.2	22.1	34.6	21.9	35.1	21.9	35.5		36.2		36.4	21.5
1800	20.8	22.2	24.0	25.1	26.0	26.6	31.6	25.4	24.2	31.0	22.0	31.4	21.9	31.8	21.6	32.3	21.8	32.9	21.5	33.4	21.4	33.9	21.4	34.4		35.1		35.5	21.2
1830																													

TABELA Nº III
MEDIÇÃO DO VALOR DE G₁₀ (SHF)

TEMPO AO FIM DO PERÍODO	FLUXO DE CALOR NA COLUNA DE SOLO ATÉ 10 cm (cal/cm ² .min)			
	a	b	c	média
0600	.000	- .001	.000	- .0003
0630	.000	.000	.000	.0000
0700	.000	- .000	- .002	- .0007
0730	- .001	.001	- .002	- .0013
0800	- .001	- .001	- .001	- .0010
0830	.000	- .001	.000	- .0003
0900	.001	.000	.001	.0007
0930	.002	.002	.001	.0017
1000	.002	.003	.003	.0027
1030	.004	.005	.004	.0043
1100	.006	.008	.006	.0067
1130	.009	.010	.009	.0093
1200	.011	.013	.011	.0117
1230	.013	.015	.013	.0137
1300	.016	.017	.014	.0157
1330	.018	.019	.016	.0177
1400	.019	.020	.017	.0187
1430	.020	.021	.018	.0197
1500	.021	.021	.018	.0200
1530	.022	.021	.017	.0200
1600	.022	.020	.017	.0197
1630	.021	.020	.016	.0190
1700	.021	.019	.015	.0183
1730	.020	.018	.014	.0173
1800	.018	.016	.013	.0157

TABELA Nº IV – DADOS CLIMÁTICOS MEDIDOS

Tempo ao Fim do Período	UNIDADE ABSOLUTA $^{\circ}\text{C}$ em g/m^{-3}										VELOCIDADE DOS VENTOS, cm/s										BALANÇO DE ENERGIA $\text{cal/cm}^2, \text{m}^2\text{h}$						
	s	7	25	35	50	70 (cm)	100	140	200	280	25	35	50	70	100	140	200	280	400	600	Rn	Rn	Rn	G	Rn+G	LE	H
0600	13.0	-	12.09	12.01	11.80	11.56	11.28	10.98	10.75	-	32	38	51	60	68	70	70	72	72	78	-.029				- .050		
0630	16.2	-	13.44	13.21	12.99	12.96	12.42	12.14	11.89	11.65	33	35	45	51	58	63	68	76	80	86	.062				- .030		
0700	18.2	-	13.57	13.32	13.09	12.86	12.77	12.64	12.53	12.38	22	22	26	28	30	28	26	33	35	46	.097				- .043		
0730	23.3	13.8	13.69	13.40	13.15	12.86	12.69	12.56	12.48	12.39	48	54	59	64	68	69	71	76	76	81	.221				- .151		
0800	23.8	19.9	15.41	14.46	14.03	13.41	13.34	13.06	12.86	12.69	94	108	120	130	139	147	152	160	162	173	.321				- .212		
0830	26.1	22.3	16.17	15.12	14.60	14.36	14.06	13.76	13.52	13.36	100	117	129	139	148	155	162	172	176	188	.420				- .364		
0900	30.0	24.6	15.61	15.00	14.40	13.86	13.39	13.02	12.78	12.63	119	141	155	168	179	190	197	208	214	227	.518				- .424		
0930	32.9	26.9	16.71	15.72	14.40	13.80	13.43	13.05	12.75	12.48	82	94	105	112	119	126	128	134	136	145	.560				- .469		
1000	38.6	28.2	18.18	16.27	14.76	14.09	13.59	13.18	12.84	12.71	69	76	87	93	98	102	106	112	116	123	.668				- .530		
1030	40.9	28.4	17.83	15.70	14.43	13.17	12.81	12.43	12.17	12.02	64	70	76	81	84	86	88	91	89	92	.727				- .591		
1100	43.2	24.4	18.25	16.18	15.25	13.98	13.52	13.27	-	-	78	85	97	105	110	114	116	121	122	127	.785				- .636		
1130	43.7	28.3	-	18.47	17.31	16.21	14.99	14.48	14.01	13.72	102	112	129	139	148	153	160	169	174	186	.828				- .696		
1200	42.1	28.2	-	18.51	17.87	15.72	15.03	14.61	-	-	127	144	160	174	188	198	208	217	227	241	.954				- .726		
1230	43.0	28.4	18.35	17.99	15.40	14.51	13.78	13.16	12.56	12.35	124	144	160	174	188	198	208	217	224	236	.859				- .772		
1300	42.6	28.4	18.78	18.14	15.92	15.03	14.35	13.85	-	-	134	158	172	188	205	217	229	243	252	265	.855				- .772		
1330	38.2	28.1	18.25	16.20	15.27	14.38	13.60	12.93	12.31	-	167	193	215	238	260	276	293	312	321	337	.854				- .802		
1400	38.2	27.6	18.25	15.05	14.06	13.08	12.39	11.73	11.25	-	169	198	219	243	265	284	302	323	335	351	.825				- .802		
1430	33.6	27.3	18.09	15.50	14.63	13.74	12.60	11.92	11.18	10.63	177	205	229	252	276	295	314	333	344	360	.767				- .772		
1500	30.5	26.9	18.22	15.94	15.14	13.80	13.17	12.54	11.83	11.31	186	217	241	269	295	317	335	360	374	395	.704				- .742		
1530	29.7	26.4	18.01	15.66	14.94	14.13	13.51	12.92	12.26	11.83	198	229	257	288	317	339	363	393	404	421	.601				- .667		
1600	29.6	25.6	17.28	16.03	14.70	13.41	13.33	12.82	12.27	11.80	193	224	252	281	309	333	355	379	395	414	.531				- .606		
1630	27.2	24.0	16.93	15.85	14.64	13.93	13.44	12.98	12.29	12.00	188	217	246	271	300	321	344	369	388	414	.439				- .545		
1700	24.5	21.9	16.68	14.94	14.57	13.93	13.55	13.17	12.66	12.39	232	276	302	335	369	402	427	467	494	538	.337				- .515		
1730	22.7	19.9	15.38	13.80	13.38	12.91	12.58	12.27	11.83	11.50	224	271	298	333	368	397	422	462	494	536	.234				- .439		
1800	22.0	18.2	15.24	13.82	13.44	13.02	12.74	12.41	11.97	11.68	177	210	236	262	290	317	344	379	409	453	.117				- .258		
1830	16.5										122	150	167	188	215	241	266	302	335	376					- .137		

MODELAMENTO DO FENÔMENO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Pedro Guerrero *

1 – INTRODUÇÃO

O estudo do fenômeno de evapotranspiração é muito importante para o desenvolvimento de culturas irrigadas, pois sua estimativa torna-se muito importante para o planejamento de áreas a irrigar (na estimativa dos consumos de água mensais, semanais ou diários de diferentes cultivos de acordo com tipos de cultivo proposto) e para a operação atual de sistemas de irrigação (na estimativa dos consumos de água durante o período entre irrigações e dos requerimentos de volumes de água a aplicar em cada irrigação).

Também o estudo deste fenômeno é considerado importante para o modelamento dos processos de precipitação, escoamento e da evaporação de lagos e reservatórios na área da hidrologia.

Outra área de aplicação ainda não muito empregada é a utilização da evapotranspiração real e seu déficit como índice de ocorrência de secas. Neste contexto, pesquisa em andamento na COPPE tenta utilizar este parâmetro além de outros mais para estudar o fenômeno de ocorrência e duração de secas e suas probabilidades correspondentes.

Diferentes modelos para representar a evapotranspiração tem sido apresentados na literatura. Muitos deles têm sido obtidos e calibrados para condições muito diferentes das condições tropicais, que muitas vezes precisam ser conhecidas para avaliar-se o modelo.

O presente trabalho faz uma revisão geral dos principais modelos disponíveis e apresenta suas premissas, quando disponíveis. Todos os modelos apresentados são utilizados neste trabalho na estimativa de valores de evapotranspiração para uma região utilizando computação digital e uma comparação inicial dos resultados entre os modelos é apresentada e discutida.

2 – MODELOS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Um modelo neste trabalho é considerado como uma conceituação das interações e respostas de um sistema real incorporando a essência do sistema real e que por sua vez é capaz de predizer aquelas interações essenciais e suas respostas relacionadas a um conjunto proposto de condições.

O fenômeno de evapotranspiração tem sido modelado de formas gerais, e nos últimos anos mais detalhadamente considerando o microambiente em que o fenômeno tem lugar.

A evapotranspiração é definida neste trabalho como o processo de passagem da água do estado líquido a estado de vapor a partir da superfície do solo saturado e da superfície das folhas de vegetação. Pode ser potencial e real.

Os modelos de estimativa de evapotranspiração a serem empregados neste estudo e descritos mais adiante são:

- a) modelos baseados em dados de umidade: Ostromecki e Papagakis.
- b) modelos baseados em dados de evaporação: Pruitt.
- c) modelos baseados em dados de radiação: Olivier, Behnke-Maxey, Turc, Jesen-Haise.
- d) modelos baseados em combinação de energia e vapor: Penman, Kohler-Nordenson-Fox.
- e) modelos baseados em dados de temperatura: Thornthwaite, Blaney-Criddle.
- f) modelos baseados em expressões obtidas por multipla regressão: Christiansen.

O método de **Ostromecki** (ostromecki, 1965) é um modelo empírico de estimativa em função do déficit de pressão de vapor, similar à equação de Dalton. O modelo é expresso como:

* Professor Adjunto. Programa de Engenharia Civil — COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

$$ET_{Os} = B \cdot d \quad (1)$$

onde ET_{Os} é a evapotranspiração em mm/dia, d é o deficit de pressão de vapor média diária e B é o coeficiente higrométrico com valores entre 0,40 e 0,55.

Papadakis (1966) apresentou um modelo baseado no déficit de saturação de vapor modificado, para levar em conta a diferença de temperatura mínima diária com a temperatura do ponto de orvalho. A evapotranspiração mensal em centímetros seria:

$$ET_p = 5625 (e_m - e_{ma} - 2) \quad (2)$$

onde:

e_{ma} é a pressão de saturação de vapor em milibares correspondente a temperatura máxima diária média e

$e_m - 2$ é a pressão de saturação de vapor em milibares correspondente à temperatura mínima diária média menos dois graus centígrados.

Pruitt (1966) utilizou a relação entre a evaporação de tanque evaporímetro e evapotranspiração empregada há muito tempo, para estudar a influência da cobertura vegetal e o tipo de tanque no coeficiente do modelo:

$$ET_T = C \cdot ET \quad (3)$$

onde C é um coeficiente igual a 0.8 para o tanque USWB-Classe A e a cobertura vegetal é grama pequena.

O modelo de **Olivier** (1961) estima a evapotranspiração em função das medições de depressão de bulbo úmido e da componente vertical teórica da radiação solar, expressa a partir de:

$$L = R = \frac{1}{R_v \sin \theta \sin d + \cos \theta \cos d \cos t} \quad (4)$$

onde:

L é a razão de radiação solar que chega a atmosfera superior (R) a sua componente vertical (R_v);

θ é a latitude do lugar de observação;

d é a declinação do solo;

t é o ângulo hora,

R é a radiação solar direta, e

R_v é a componente vertical de R

Para cada mês, Oliver define o parâmetro $LON = \frac{L}{\bar{L}}$ onde $\bar{L}$ é a razão mensal média para um ano. O parâmetro LON é relacionado com a depressão média mensal da temperatura do bulbo úmido de graus centígrados (C) para determinar a evapotranspiração potencial para uma unidade de solo de cultivo (ET_{OL}) em mm/dia como:

$$ET_{OL} = C \frac{LON}{L^2} = C \cdot WON \quad (5)$$

Oliver apresenta tabelas para o parâmetro WON para diferentes latitudes.

O modelo apresentado por **Behnker e Maxey**, (1969), simplificou a estimativa da depressão do bulbo úmido para o caso de deficiência desta informação meteorológica, substituindo por uma relação em termos de temperatura média mensal (T) em °C como:

$$ET_{BM} = \frac{T}{1.9} \cdot WON \quad (6)$$

Deve-se mencionar que a relação com a temperatura foi obtida só para o Estado de Nevada, U.S.A. que apresenta condições áridas.

Turc (1961) apresentou um modelo mais simplificado que versões anteriores para estimativa da evapotranspiração potencial de períodos de 10 dias. O modelo consiste de duas alternativas:

- a) Para umidade relativa maior de 50%

$$ET_T = .013 \frac{T}{T + 15} (RS + 50) \quad (7.a)$$

b) Para umidade relativa (U.R.) menor de 50%

$$ET_T = .013 \frac{T}{T + 15} (RS + 50) \left(1 + \frac{50 - U.R.}{70}\right) \quad (7.b)$$

onde

T é a temperatura média em °C,

ET é a evapotranspiração potencial em mm/dia, e

RS é a radiação solar.

Jensen et al (1963, 1966, 1970) desenvolveram um modelo a partir de observações de evapotranspiração obtidas por amostragem do solo. A evapotranspiração estimada pelo modelo corresponde à evapotranspiração do cultivo de alfalfa, com suficiente abastecimento de água e com 30 a 50 cm de altura, e expressada em cal/cm²/dia, como:

$$ET_J = C_T (T - T_X) RS \quad (8)$$

onde C_T é um coeficiente de temperatura e T_X é a interceptação do eixo de temperatura, os quais são:

$$C_T = \frac{1}{C_1 + C_2 + C_H} \quad (9)$$

$$C_H = \frac{50 \text{ mb}}{e_2 - e_1} \quad (10)$$

para as quais, e₁ e e₂ são as pressões de saturação de vapor para as temperaturas máximas média e mínima média respectivamente para o mês mais quente da área; C₁ = 68°F - (3.6°F x elevação em pés/1000 pés), C₂ = 13°F e T_X = 27.5°F - 0.25 (e₂ - e₁)°F/mb - (elev./1000)°F.

Penman (1948) considerando que se requer energia para manter a evaporação e que se requer de um mecanismo para remoção do vapor, combinou estes dois ítems e apresentou o modelo de combinação expressado como:

$$ET_P = (R_n + G) + 15.36(1.0 + .0062 U_2) (e_o - e_z) \quad (11)$$

onde:

, Y e R_n foram definidos anteriormente e

G é fluxo de calor do solo,

U₂ é a velocidade do vento a 2 m em km/dia, e

e é a pressão de saturação de vapor da correspondente temperatura (0 para superfície de evaporação).

Kohler, Nordenson e Fox (1955) apresentaram resultados dos estudos sobre estimativa de evaporação de lagos a partir de dados meteorológicos modificando a expressão de Penman, resultando em:

$$ET_{KN} = 0.70 Q_n + (e_s - e_a) \frac{0.88}{1 + Y} (0.37 + .0041 UP) \quad (12)$$

onde:

Q_n = e(T - 212) (.1024 - .01066 log RS)
é a declividade da curva de pressão de saturação do vapor,
8 (.0041) (.0041 T + .676)⁷ - .000019,
é a constante psicométrica.

e_s é a pressão de saturação de vapor à temperatura do ar,

e_a é a pressão de saturação de vapor à temperatura da água,

T é a temperatura em °F,

RS é a radiação solar em langleys/dia,

UP é a velocidade do vento a 6 polegadas acima do tanque de evaporação classe A, e

Q_n é o intercâmbio de radiação.

Thornthwaite (1948) correlacionando a temperatura média mensal do ar com evapotranspiração obtida para vales do centro-este de U.S.A., obteve o seguinte modelo para evapotranspiração mensal em centímetros:

$$ET_T = C(1.6) \left(\frac{10}{T}\right)^a \quad (13)$$

onde:

- t é a temperatura média mensal em °C,
I é o somatório dos 12 valores de $i = t/5)^{1.514}$,
a é igual a: $675 \times 10^{-6} I^3 - 771 \times 10^{-4} I^2 + .01792 I + 49239$ e,
c é um coeficiente de ajuste ao número de horas de sol.

O método de Thornthwaite, muito empregado pela sua simplicidade tem as seguintes premissas: o albedo da superfície de evaporação deve ser "standard", a razão de evapotranspiração não deve ser influenciada pela direção do ar úmido ou seco e a razão de energia utilizada em evaporação, a energia de aquecimento do ar deve ser mantida constante. Como estas premissas não são válidas geralmente para o caso de zonas áridas e (semi-áridas), muito cuidado deve-se ter na sua aplicação.

Blaney e Criddle (1962) reapresentaram o modelo desenvolvido ao longo dos anos desde 1945 que considera a evapotranspiração variando diretamente com a soma dos produtos de temperatura média mensal do ar e a percentagem mensal de horas de sol com um cultivo em fase de crescimento com adequada umidade do solo. A evapotranspiração em polegadas seria:

$$ET_{BC} = Kf \quad (14)$$

onde:

- K é um coeficiente empírico de uso consuntivo.
f = $tp/100$ com t a temperatura média mensal (°F) e p a percentagem mensal de horas de luminosidade de ano.

Christiansen (1968) utilizando múltipla regressão, apresentou um modelo para estimar evaporação de tanque USWB classe A e logo obter desta estimativa, a evapotranspiração. O modelo é o seguinte:

$$ET = .473 R C_T C_W C_H C_S C_E C_M \quad (15)$$

onde:

$$\begin{aligned} C_T &= -.0673 + .0132 T + .0000367 T^2 \text{ com } T \text{ a temperatura em } ^\circ\text{F}, \\ C_W &= 708 + .00546 W - .00001 W^2 \text{ com } W \text{ a velocidade do vento,} \\ C_H &= 1.250 - .87 H_n + .75 H_n^2 - .85 H_n^4 \text{ com } H_n \text{ a umidade do ar ao meio dia,} \\ C_S &= .542 + .80 S - .78 S^2 + .62 S^3 \text{ com } S \text{ a cobertura de nuvens,} \\ C_E &= .970 + .030 E \text{ com } E \text{ a elevação em milhares de pés, e} \\ R &= \text{radiação dolst.} \end{aligned}$$

Deve-se mencionar que outros modelos não mencionados aqui serão também empregados no trabalho que está sendo desenvolvido.

3 – UTILIZAÇÃO DOS MODELOS

Os diferentes modelos apresentados têm sido estudados orientando a sua utilização mediante computação digital. Todos os modelos foram programados em FORTRAN IV e certos parâmetros meteorológicos foram estimados mediante séries de polinômios de acordo com os trabalhos de Lamoreux (1962) e Bosen (1960).

Foi considerada a alternativa de ausência de algum tipo de dados requerido por um modelo dado, caso em que os cálculos continuam com o seguinte modelo.

A unidade de tempo de cálculo de evapotranspiração potencial foi o dia, mesmo que em certos modelos, se obtenha para casos mensais.

O conjunto de modelos foi aplicado para o caso da estação Propriá, a título de teste e exemplo para níveis mensais, obtendo-se resultados aceitáveis em valor absoluto em todos os modelos.

Uma vez que todos os modelos se encontrem implantados no Núcleo de Computação Eletrônica da UFRJ, se tentará uma comparação com dados de evapotranspiração obtida com tanques lisimétricos no Brasil e medidas objetivas de avaliação de ajustamento, similares ao caso de ajustamento de modelos matemáticos em hidrologia serão utilizados tentando selecionar os modelos mais adequados para as regiões brasileiras e logo aplicados no estudo de ocorrência e duração de secas em andamento na COPPE.

4 – CONCLUSÕES

As seguintes conclusões podem se inferir do trabalho em andamento:

- a utilização dos modelos de evapotranspiração para regiões tropicais (áridas e semi-áridas) deve ser feita cuidadosamente pois nem sempre as premissas do modelo são satisfeitas.
- um conjunto de modelos de evapotranspiração orientados a computação digital tem sido montado, os quais com o auxílio de dados de campo, poderão servir para selecionar e testar modelos de outras regiões para as condições do país.

5 – REFERÊNCIAS

- BLANEY, H.F. e CRIDDLE, W.D., (1962) – Determining Consumptive Use and Irrigation Water Requirements – U.S. Dept. Agr. Tech. Bull 1275.
- CHRISTIANSEN, J.E., (1968) – Pan Evaporation and Evapotranspiration from Climatic Data – J. Irrigation and Drainage Div. ASCE, 94, IR2, 243-265.
- JENSEN, M.E. and HAISE, H.R., (1963) – Estimating Evapotranspiration Solar Radiation – J. Irrigation and Drainage Div., ASCE, 89 IR4, 15-41.
- JENSEN, M.E., ROBB, D.C. and FRANZOY, C.E., (1970) – Scheduling Irrigations Using Climate-Cropsoil Data – J. Irrigation and Drainage Div., ASCE, 96, IR 1, 25-28.
- JENSEN, M.E. – Irrigation Water Requirements – em preparação – ASCE.
- KOHLER, M.A., NORDENSON, T.J. e TOX, W.E., (1955) – Evaporation from Pans and Lakes – U.S. Weather Bureau Res. Paper 38.
- LAMOREAUX, W., (1962) – Modern Evaporation Formulae Adapted to Computer Use – Monthly Weather Review, Jan. 1962.
- OLIVIER, HENRY, (1961) – Irrigation and Climate – Edward Arnold, London.
- OSTROMECKI, A., (1965) – Remarks on Methods of Computation of Water Requirements of Fields and Grass-Lands – USDI, TT-67-56052.
- PAPADAKIS, J., (1966) – Climates of the World and their Agricultural Potentialities – Buenos Aires.
- PENMAN, H.L., (1948) – Natural Evaporation from Open Water, Base soil and grass – Proc. Roy. Soc. A 193.
- PRUITT, W.D., (1960) – Relation of Consumptive Use of Water to Climate – Am. Soc. Ag. Eng. Trans. 3:9-13.
- THORNTHWAITE, C.W., (1948) – An Approach Toward a Rational Classification of Climate – Geog. Review 38-55.
- TURC, L., (1961) – Estimation of Irrigation Water Requirements, Potential Evapotranspiration: a Simple Climatic Formula Evolved up to Date – Ann. Agron. 12:13-49.

INSTRUÇÕES PARA UTILIZAÇÃO DO TANQUE CLASSE "A" EM ESTIMATIVAS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL, REAL E FREQUÊNCIA DE IRRIGAÇÃO

Nilson Augusto Villa Nova**
José Carlos Ometto**

1. INTRODUÇÃO

O Tanque Classe "A", entre outros, é um evaporímetro cuja utilização é largamente difundida nos E.U.A. Embora atualmente a O.M.M. (*) se proponha a definir, em função da experiência já adquirida, um novo tipo de tanque padrão, a existência de uma longa série de dados e correlações obtidas, em vários países do mundo, habilita o tanque Classe "A" como método padrão de estimativa da evapotranspiração potencial e real.

2. CARACTERÍSTICAS

2.1. De Construção

Tanque circular, 1,20 m de diâmetro por 0,25 m de altura, construído de chapa galvanizada nº 22. É assentado no solo sobre um estrado de caibros de 0,10 x 0,05 x 1,24 m, nivelado sobre o terreno, com os vãos cheios de terra (vide Figura 1).

2.2. De Operação

O tanque é cheio de água limpa até 5 cm da borda superior. O nível mínimo de medida permitido é de 7,5 cm a partir da borda, ou seja, a cada 25 mm (2,5 cm) de evaporação devemos restaurar o volume. A variação de nível é medida com auxílio de uma ponta de medida tipo gancho assentada em cima de um poço tranquilizador devidamente nivelado (vide Figura 1), sendo a precisão de medida cerca de 0,02 mm. A leitura de nível é realizada todos os dias às 7:00 horas e a diferença de duas leituras consecutivas nos dá o valor da evaporação.

Exemplificando:

dia 12/05/75 às 7:00 horas — leitura 4,08 mm
dia 13/05/75 às 7:00 horas — leitura 1,26 mm
evaporação do período (dia 12) — 4,08 — 1,26 = 2,82 mm

3. ESTIMATIVAS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL

3.1. Coeficiente de conversão do Tanque Classe "A" (K_p)

Com auxílio da evaporação medida no tanque Classe "A" estima-se a evapotranspiração potencial (ETP), ou seja, a perda de água sofrida por uma superfície coberta de vegetação rasteira, em fase de desenvolvimento ativo, cobrindo totalmente o terreno, no qual a umidade não limita o desenvolvimento ótimo da planta. Estas condições observadas determinam que somente os parâmetros externos à superfície (parâmetros climáticos) sejam os responsáveis pelo processo de evapotranspiração, que neste caso é denominada de "evapotranspiração potencial" ou também "evapotranspiração de referência" (F.A.O.). A evapotranspiração potencial assim definida é usualmente medida por "evapotranspirômetros" ou lisímetros, expostos com a devida bordadura, utilizando-se grama batatais (*Paspalum notatum*) como cobertura. Como a instalação, operação e manutenção de tais instrumentos é complexa, usualmente obtém-se uma estimativa da evapotranspiração potencial através de um coeficiente de conversão de tanque (K_p) assim definido:

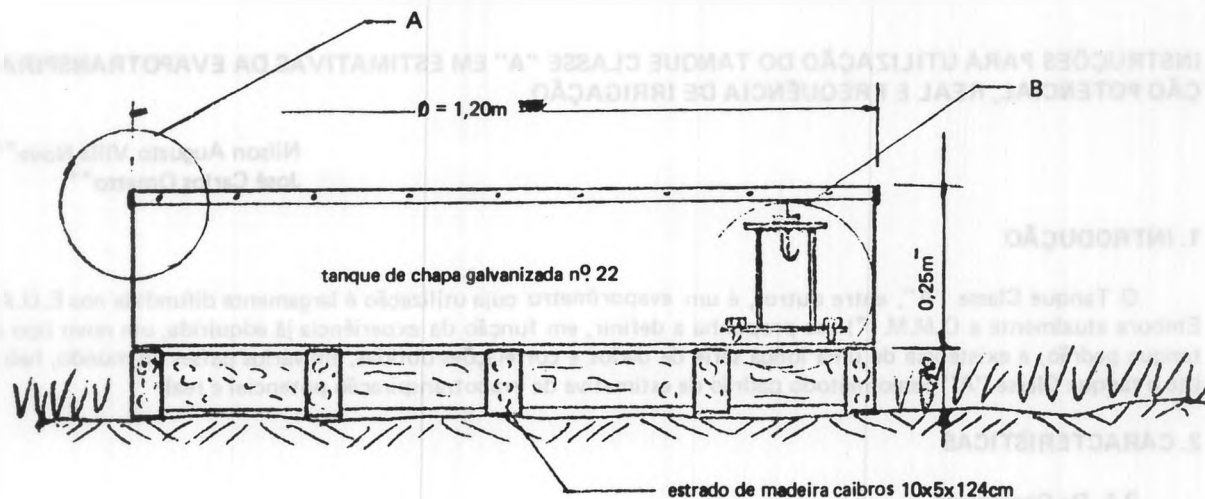
$$K_p = \frac{\text{Evapotranspiração Potencial (ETP)}}{\text{Evaporação Tanque Classe "A" (E.C.A.)}}$$

ou seja,

* O.M.M. — Organização Meteorológica Mundial

* Professor Livre Docente, Departamento de Física e Meteorologia da E.S.A. "Luiz de Queiroz" — USP — Piracicaba — SP

Fig. 1
Conjunto tanque Classe A poço tranquilizador, ponta de medida e estrado suporte.

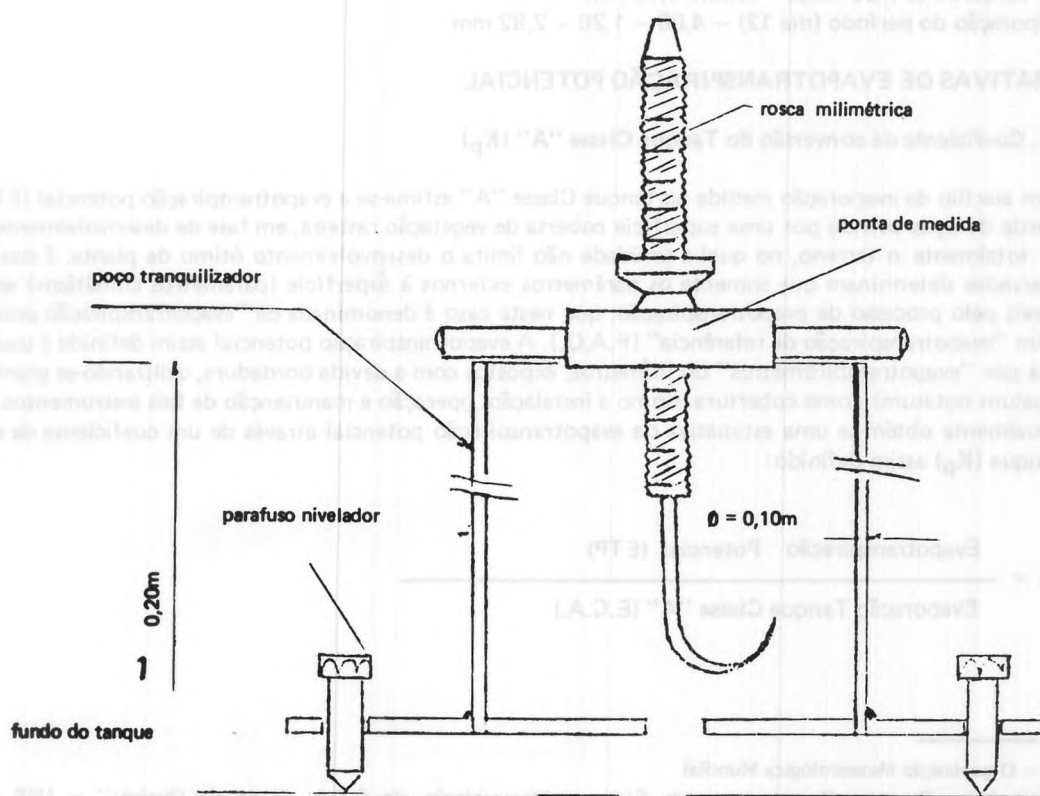


DETALHE A



DETALHE B

poço tranquilizador e ponta de medida



$$E.T.P. = K_p \cdot E.C.A. \dots\dots\dots (1)$$

Inúmeras correlações obtidas por diferentes pesquisadores, em várias partes do mundo, nos revelam que o valor de K_p varia em função da umidade relativa, da velocidade do vento e do modo pelo qual o tanque é exposto. A Tabela I, elaborada por uma comissão de estudo da F.A.O., nos mostra quais os valores de K_p adotados em função destes fatores. A Tabela é elaborada para três níveis de vento e umidade, para dois tipos de exposição (em gramado e solo nú) e para bordaduras de 0 a 1.000 m.

3.2. Exemplo de utilização

Em certa região, um tanque classe "A" situado no centro de uma área gramada circular (portanto exposição A) de 11 m de raio (portanto $d \approx 10$ m), nos forneceu valores de evaporação (ECA) em diferentes períodos (I, II, III e IV) para os quais foram anotadas diferentes condições meteorológicas constantes do quadro abaixo. Determinar a evapotranspiração potencial de cada um dos períodos.

Solução: De acordo com os coeficientes constantes na Tabela I para exposição A e $d = 10$ m, teremos:

Dados	Período I	Período II	Período III	Período IV
U. RELAT. (%)	30	60	80	35
VENTO (km/dia)	90	180	510	700
ECA (mm/dia)	4,00	5,20	6,00	7,20
K_p	0,65	0,70	0,65	0,45
ETP = $K_p \cdot ECA$ (mm/dia)	2,60	3,64	3,90	3,24

4. ESTIMATIVAS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL

4.1. O coeficiente de cultura (K_c)

Define-se como evapotranspiração real (ETR) a perda real, por evaporação de solo e transpiração de planta, ocorrida em um período, a condições quaisquer de umidade do solo e estágio de desenvolvimento da cobertura vegetal.

Denomina-se coeficiente de cultura (K_c) a relação entre a evapotranspiração real e evapotranspiração potencial observadas num período de tempo, em relação a uma cultura qualquer, ou seja:

$$K_c = \frac{ETR}{ETP} \dots\dots\dots (2)$$

ou ainda,

$$ETR = K_c \cdot ETP \dots\dots\dots (3)$$

4.2. Fatores determinantes do valor K_c

O valor de K_c é condicionado principalmente pelos seguintes fatores:

4.2.1. Umidade do solo e evapotranspiração potencial

Estes dois fatores atuam conjuntamente. É fato sabido que a disponibilidade de água no solo depende bastante do valor da demanda atmosférica (por questões de condutividade hidráulica de solo e planta), representada pelo valor de ETP. Assim sendo a água livremente disponível para planta em um determinado solo dependerá não só do tipo de solo e de seu teor de umidade como também da velocidade de solicitação (ETP) desta água. Para nossas condições climáticas onde ocorrem valores máximos de ETP em torno de 5 a 6 mm/dia, observa-se que no teor de umidade correspondente, a tensão de água no solo, entre 1/3 e uma atmosfera (que é variável para cada tipo de solo), o valor de K_c é muito pouco dependente do tipo de solo e do teor de umidade; variando apenas em função das características da planta.

4.2.2. Estágio de desenvolvimento da cultura

O valor de K_c varia ao longo do ciclo de uma cultura, tornando-se para a mesma cultura, mais ou menos constante em determinados estágios do desenvolvimento, (desde que a tensão da água no solo esteja próxima a uma atmosfera). O coeficiente K_c é definido então em quatro estágios principais assim caracterizados:

Estágio I — Desde a semeadura até início de emergência das plantas.

Estágio II — Desde a emergência das plantas até 80% do desenvolvimento total. Neste estágio K_C varia bastante e seu valor a determinado tempo é obtido por interpolação entre estágios I e III.

Estágio III — Desde 80% de desenvolvimento até a maturação.

Estágio IV — Desde a maturação até colheita.

Cumpra-se notar que no estágio I ocorre principalmente evaporação de solo nu, e nos estágios seguintes a proporção entre evaporação e transpiração é determinada principalmente pela densidade de cobertura.

4.2.3. Tipo de cultura

Existe uma variação de K_C de cultura para cultura em função da densidade de cobertura, do porte, que determinadas características “aerodinâmicas” da superfície, é também devido as características biológicas próprias.

4.3. Alguns valores de K_C determinados

Como resultado de inúmeras pesquisas em diferentes partes do mundo a F.A.O. recomenda a adoção, com razoável precisão, dos seguintes valores de K_C , para os diferentes estágios:

Estágio I — O valor médio de K_C é obtido a partir do gráfico II, em função do valor de ETP observado no período e da frequência de irrigação ou chuva significativa, que condicionam o teor de umidade do solo.

Estágio II — Neste estágio K_C é determinado a qualquer tempo interpolando-se graficamente entre os estágios I e III (Ver exemplo).

Estágios III e IV — Nas Tabelas II e III são relatados para diferentes culturas valores de K_C obtidos experimentalmente.

Convém notar que os valores de K_C relatados na Tabela III são válidos para teor de umidade, correspondentes a tensão de água no solo, próxima de 1 atmosfera.

5. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

PREVER com o uso do tanque classe “A” as necessidades e data de irrigação de uma cultura de milho sendo observadas as seguintes condições:

5.1 Estágios prováveis de crescimento

Tais estágios devem ser conhecidos através de informações locais. Suponhamos em média a seguinte distribuição:

Estágio I: do plantio até emergência. de 15/10/75 a 25/10/75 (± 10 dias)

Estágio II: da emergência até 80% do desenvolvimento vegetativo. de 25/10/75 a 13/01/76 (± 80 dias)

Estágio III: de 80% do desenvolvimento vegetativo até maturação de 13/01/76 a 17/02/76 (± 35 dias)

Estágio IV: da maturação até colheita de 17/02/76 a 27/02/76 (± 10 dias)

5.2. Gráfico do coeficiente de cultura (K_C), de acordo com os dados meteorológicos do Quadro I.

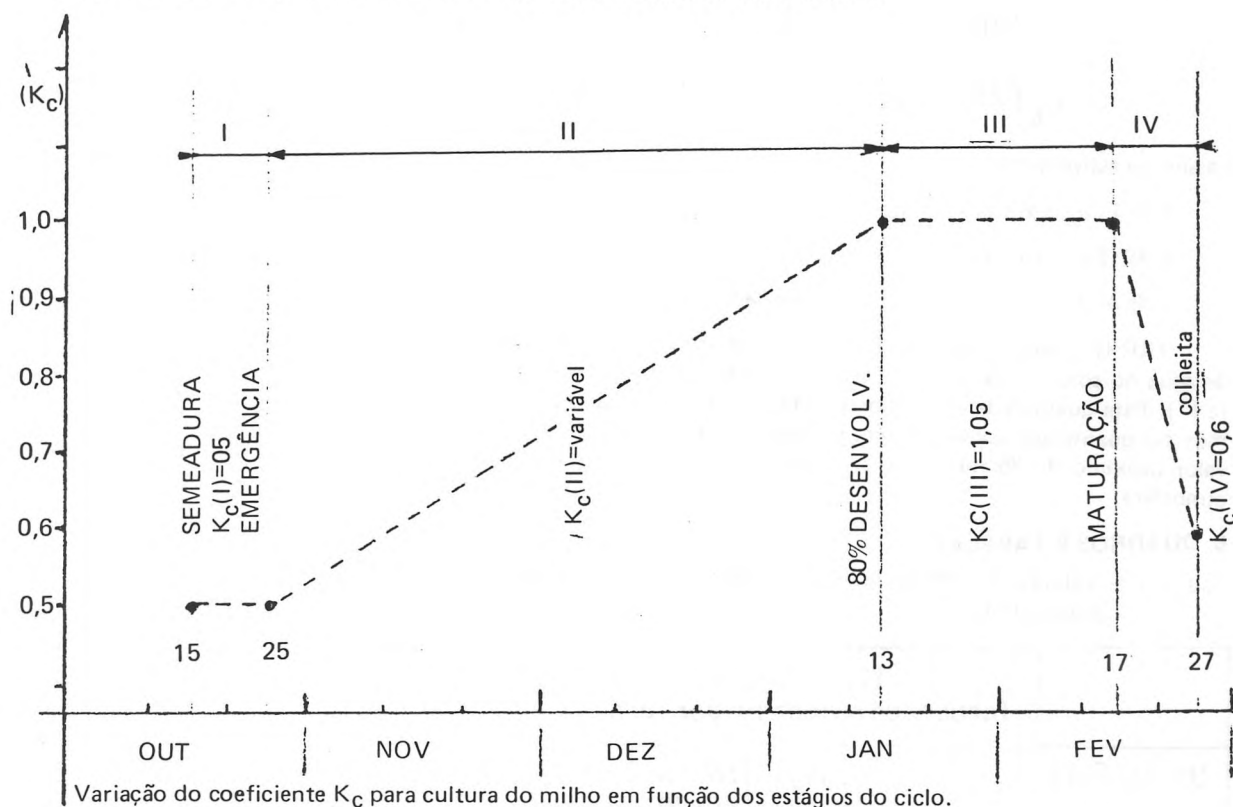
Estágio I: De acordo com o gráfico II (Cap. 6), considerando-se no período o valor médio de ETP = 2,1 mm (informação local) e uma frequência de irrigação de 10 dias teremos para o valor de K_C no estágio I, K_C (I) = 0,51.

Estágio II: K_C (II) será obtido por interpolação ao longo do período.

Estágio III: De acordo com a Tabela II (Cap. 6), K_C (III) = 1,05.

Estágio IV: De acordo com a Tabela II (Cap. 6), K_C (IV) = 0,6.

Dispondo agora em gráfico os valores de K_c contra o tempo do ciclo teremos:



5.3. Estimativas da evapotranspiração real

Desde que as correlações entre tanque classe "A" e evapotranspiração real são melhores a partir de período de confronto de 5 dias no mínimo, devemos utilizar o valor médio dos dados meteorológicos deste período para cálculo da evapotranspiração real. O valor do coeficiente K_c a cada tempo é interpolado gráfica ou numericamente entre os limites dos estágios. Um exemplo de disposição dos dados para cálculo é mostrado no Quadro I (cap. 6), onde as colunas significam:

Período e número de dias: respectivamente datas e intervalo de tempo considerado (mínimo de 5 dias) para cálculo da evapotranspiração média. A data inicial é da semeadura e aqui devem figurar as datas de transição do coeficiente K_c para facilidade de interpolação.

Dados meteorológicos médios: Umidade relativa (%), velocidade do vento (Km/dia) e evaporação do tanque classe "A" (ECA). Valores médios do período considerado.

K_p : Valor do coeficiente de tanque função da posição (distância d), e da UR e vento médios do período (ver Tabela I). No caso presente assumimos o tanque colocado no centro de uma área grama de 10 m de raio.

ETP: Evapotranspiração potencial calculada. Determinada de acordo com (1) por:

$$ETP = K_p \times ECA \dots \dots \dots (1)$$

K_c : Coeficiente de cultura. Os valores de transição de estágios são determinados pela Tabela. Os valores intermediários são interpolados. Exemplificando:

$$\begin{aligned} \text{para } 25/10 & - K_c = 0,50 \\ \text{para } 13/01 & - K_c = 1,05 \\ \text{diferença para:} & \\ 80 \text{ dias} & = 0,55 \\ \text{diferença para:} & \\ 5 \text{ dias} & = \frac{0,55}{80} \times 5 = 0,03 \end{aligned}$$

Isto quer dizer que a cada 5 dias teremos um acréscimo K_c de 0,03 unidades aproximadamente, ou seja:

$$K_c(20/10) = K_c(15/10) + \Delta K_c = 0,55 + 0,03 = 0,58,$$

$$K_c(25/10) = K_c(20/10) + \Delta K_c = 0,58 + 0,03 = 0,61,$$

e assim sucessivamente.

ER: Evapotranspiração real média do período. Calculada através da equação (3), ou seja, $ER = K_c \times ETP$.

ERP: Evapotranspiração real do período. Obtida através do produto, $ERP = ER \times n^o$ de dias.

E.R.A.: Evapotranspiração real acumulada. Se constitui da somatória dos valores de ERP ocorridos.

IRRIG.: Nesta coluna a data e o total de irrigação a ser aplicada. Frequentemente irriga-se quando a tensão de água no solo é próxima de 1 atmosfera. Assim sendo a água a repor será aquela contida entre 1/3 e 1 atmosfera (*). Esta quantidade é dependente, do tipo de solo e da profundidade considerada. No presente caso assumiremos tal quantidade como 35 mm. O solo é então irrigado na data inicial, e todas as vezes que ERA atingir um valor próximo de 35 mm irriga-se nesta data com igual quantidade, reconduzindo o perfil a tensão de 1/3 de atmosfera.

6. QUADROS E TABELAS

Tabela 1 — Valores do coeficiente de conversão do Tanque "Classe A" (K_p), para estimativa da evapotranspiração potencial (ETP).

		Exposição A: Tanque circundado por grama			Exposição B: Tanque circundado por solo nu			
UR %(média)		Baixa < 40%	Média 40-70%	Alta > 70%		Baixa < 40%	Média 40-70%	Alta > 70%
Vento (km/dia)	Posição do tanque d(m)*				Posição do tanque d(m)*			
Leve < 175	0	0,55	0,65	0,75	0	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,50	0,60	0,70
Moderado 175 - 425	0	0,50	0,60	0,65	0	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	10	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	100	0,50	0,60	0,65
	1000	0,70	0,80	0,80	1000	0,45	0,55	0,60
Forte 425 - 700	0	0,45	0,50	0,60	0	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	10	0,50	0,55	0,75
	100	0,60	0,65	0,75	100	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	1000	0,40	0,45	0,55
Muito Forte > 700	0	0,40	0,45	0,50	0	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	10	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	100	0,40	0,45	0,50
	1000	0,55	0,60	0,65	1000	0,35	0,40	0,45

Food and Agriculture Organization (F.A.O.)

NOTA: Para extensas áreas de solo nu reduzir os valores de K_p de 20% em condições de alta temperatura, vento e umidade.

*Por d entende-se, como a menor distância (expressa em metros), do centro do tanque ao limite da bordadura (grama ou solo nu).

* Neste intervalo de tensão a água é livremente disponível para altos valores de ETP e para uma larga faixa de tipos de solo.

Tabela II — Valores médios de K_c para III e IV estágios de algumas culturas em função de valores médios de umidade relativa e vento (F.A.O.).

	Umidade relativa mínima* > 70%				Umidade relativa mínima* < 20%			
	Velocidade do Vento (Km/dia)				Velocidade do Vento (Km/dia)			
	0 - 450		450 - 750		0 - 450		450 - 750	
Cultura	Estágio		Estágio		Estágio		Estágio	
	III	IV	III	IV	III	IV	III	IV
Feijão	0,95	0,85	0,95	0,85	1,0	0,90	1,05	0,90
Milho	1,05	0,55	1,10	0,55	1,15	0,60	1,20	0,60
Algodão	1,05	0,65	1,15	0,65	1,20	0,65	1,25	0,70
Batatas	1,05	0,7	1,10	0,7	1,15	0,75	1,2	0,75
Sorgo	1,0	0,50	1,05	0,50	1,10	0,55	1,15	0,55
Tomate	1,05	0,60	1,10	0,60	1,20	0,65	1,25	0,65
Crucíferas	0,95	0,80	1,0	0,85	1,05	0,90	1,10	0,95

Tabela III — Valores médios de K_c para diferentes estágios de cana-de-açúcar em função da umidade relativa média e velocidade do vento (F. A. O.).

Estágios de Crescimento	Umidade relativa mínima* > 70%		Umidade relativa mínima* < 20%	
	Vento (Km/dia)		Vento (Km/dia)	
	< 400	> 400	< 400	> 400
Do plantio até 25% de cobertura	0,55	0,60	0,40	0,45
De 25 a 50%	0,80	0,85	0,75	0,80
De 50 a 75%	0,90	0,95	0,95	1,0
De 75 a 100%	1,0	1,10	1,10	1,20
Uso máximo	1,05	1,15	1,25	1,30
Início maturação	0,8	0,85	0,95	1,05

NOTA: Em termos de U.R. média será prático considerar-se:

U.R. mínima > 70% corresponderá a U.R. média > 50%.

U.R. mínima < 20% corresponderá a U.R. média < 50%.

QUADRO I - DISPOSIÇÃO DE DADOS PARA CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL.

Período	Nº de dias	Dados Meteorol. Médios			K_p	ETP (mm)	K_c	E.R. (mm)	E.R.P. (mm)	E.R.A. (mm)	Irrig. (mm)
		UR (t)	Vento (Km/dia)	E.C.A. (mm)							
15/10 a 20/10	5	35	450	3,8	0,55	2,1	0,51	1,1	5,5	5,5	
20/10 - 25/10	5	60	430	4,6	0,60	2,8	0,51	1,4	7,0	12,5	
25/10 - 30/10	5	60	460	4,8	0,60	2,9	0,54	1,6	8,0	20,5	
30/10 - 04/11	5	65	380	5,3	0,70	3,7	0,58	2,1	10,7	31,2	31,2
04/11 - 09/11	5	75	370	5,6	0,75	4,2	0,61	2,5	12,5	12,5	
09/11 - 14/11	5	75	395	5,2	0,75	3,9	0,65	2,5	12,5	25,0	25,0
14/11 - 18/11	5	80	310	4,7	0,75	3,5	0,68	2,4	12,0	12,0	
18/11 - 23/11	5	65	280	4,3	0,70	3,0	0,71	2,1	10,5	22,5	
23/11 - 28/11	5	80	260	3,9	0,75	2,9	0,74	2,1	10,5	31,0	31,0
28/11 - 03/12	5	85	265	5,4	0,75	4,0	0,78	3,1	15,5	15,5	
03/12 - 08/12	5	84	201	5,6	0,75	4,2	0,87	3,4	17,0	32,5	32,5
08/12 - 13/12	5	82	140	6,4	0,85	5,4	0,84	4,5	22,5	22,5	
13/12 - 18/12	5	85	145	5,8	0,85	4,9	0,87	4,3	21,5	44,0	44,0
18/12 - 23/12	5	80	170	5,6	0,85	4,8	0,90	4,3	21,5	21,5	
23/12 - 28/12	5	80	165	5,2	0,85	4,4	0,93	4,1	20,5	20,5	42,0
28/12 - 02/01	5	85	140	4,9	0,85	4,2	0,98	4,1	20,5	20,5	
02/01 - 07/01	5	85	120	5,3	0,85	4,5	1,01	4,5	22,5	43,0	43,0
07/01 - 13/01	6	85	135	5,5	0,85	4,7	1,05	4,9	24,5	24,5	

QUADRO I – DISPOSIÇÃO DE DADOS PARA CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL (Continuação)

Período	Nº de dias	Dados Meteorol. Médios			K_p	ETP (mm)	K_c	E.R. (mm)	E.R.P. (mm)	E.R.A. (mm)	Irrig. (mm)
		UR (%)	Vento (Km/dia)	E.C.A. (mm)							
13/01 a 18/01	5	75	130	4,9	0,85	4,2	1,05	4,4	22,0	44,5	44,5
18/01 - 23/01	5	75	145	5,1	0,85	4,3	1,05	4,5	22,5		
23/01 - 28/01	5	80	160	5,1	0,85	4,3	1,05	4,5	22,0	44,5	44,5
28/01 - 02/02	5	85	125	5,4	0,85	4,6	1,05	4,8	24,0		
02/02 - 07/02	5	80	110	5,1	0,85	4,3	1,05	4,5	22,0	46,0	46,0
07/02 - 12/02	5	75	190	4,8	0,75	3,6	1,05	3,8	19,0		
12/02 - 17/02	5	60	250	5,8	0,70	4,1	1,05	4,3	21,5	40,5	0,0*
17/02 - 22/02	5	49	445	5,8	0,60	3,5	0,83	2,9			
22/02 - 27/02	5	45	460	5,7	0,60	3,4	0,6	2,0			

*Nota: No fim do estágio III, início do estágio IV (17/02) dispensa-se a irrigação (secagem).

7 BIBLIOGRAFIA

DOORENBOS, J. e PRUITT, W.O. — Guidelines for predicting: Crop water requirements. Irrigation and drainage paper. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1975.

GANGOPADHYAYA, M.; HARBECK Jr., G.E., NORDENSON, T. J.; OMAR, M.H. e URYVAEV, V.A. — Measurement and Estimation of Evaporation and Evapotranspiration — WMO — Nº 201. TP. 105, Technical Note Nº 83, 1966. 121 pp.

EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM *PHASEOLUS VULGARIS*, L. ESTIMADA POR EVAPORÍMETROS E FÓRMULAS EMPÍRICAS

Maria de Jesus Nogueira Aguiar *
Klaus Reichardt **
Jesus Marden dos Santos ***

1 – INTRODUÇÃO

Com o aumento demográfico, o homem será ameaçado ainda mais severamente pela fome nestes próximos anos, a não ser que sejam tomadas precauções no que diz respeito a maior produtividade de alimentos, a expansão da agricultura para novas áreas e ao controle da natalidade. A irrigação é um dos processos com o qual o homem conseguirá aumento na produtividade agrícola.

O propósito primário da irrigação é evitar que uma cultura sofra deficiência de água, principalmente nos períodos críticos, nos quais a falta de água acarreta conseqüências irreversíveis. A evapotranspiração é um elemento básico para determinar a quantidade de água a ser aplicada à cultura. Diante da importância da evapotranspiração, vários métodos foram propostos para estimá-la, cuja dificuldade principal tem sido a de reunir simplicidade e precisão na estimativa.

O objetivo do presente trabalho foi encontrar a correlação e respectivo coeficiente de proporcionalidade entre a evaporação da água de tanques Classe A e GGI-3.000 nas condições em que uma cultura se desenvolve e, a evapotranspiração estimada através dos métodos clássicos de PENMAN (1948) adaptado para as condições de São Paulo por VILLA NOVA (1967), Van BAVEL (1952), THORNTON (1948) e HARGREAVES (1974).

Para tais estudos foi escolhida a cultura do feijão comum, *Phaseolus vulgaris*, L., cultivar "carioca". A escolha recaiu sobre esta cultura visto sua importância como fonte de proteínas na alimentação do homem e da possibilidade de seu cultivo durante todo o ano em várias regiões do globo.

2 – MATERIAL E MÉTODO

2.1. Generalidades

O presente trabalho foi desenvolvido na "Estação para Estudos de Evapotranspiração da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", ao lado do Observatório Agro-Meteorológico, em Piracicaba, Estado de São Paulo, cujas coordenadas geográficas são: 22°42' S, 47°38' W e 576 metros de altitude.

Segundo RANZANI et alii (1966) o solo do campo experimental pertence à série Luiz de Queiroz, classificado ao nível de grande grupo com terra roxa estruturada. De acordo com o sistema de classificação americana, sétima aproximação, é um acrohumox da ordem Oxissol, podendo uma série de características hídricas ser encontrada em REICHARDT et alii (1974a).

Nesta pesquisa foi utilizado o cultivar "carioca" do feijão comum, *Phaseolus vulgaris*, L., família Leguminosae e sub-família Papilionoidae. A semeadura foi efetuada no dia 13 de março de 1974, obedecendo o espaçamento de 40,0 cm entre linhas e 20,0 cm entre plantas na linha com 2 sementes por cova. Durante a semeadura aplicou-se fertilizantes no sulco, abaixo da semente, na razão de 30 kg N/ha (Sulfato de Amônio), 50 kg P₂O₅/ha (Superfosfato Simples) e 50 kg de K₂O/ha (Cloreto de Potássio). Trinta dias após o plantio foram aplicados mais 30 kg de N/ha (Sulfato de Amônio) na entre-linha. Treze dias após a semeadura foi feito o desbaste e colocada a cobertura morta de *Crotalaria juncea*, L.

A fim de determinar o intervalo de água disponível no solo para os tratamentos irrigados, utilizou-se dados de drenagem obtidos por REICHARDT et alii (1974b). Estes autores saturaram o perfil do solo em uma área de 25,0 m², cobriram sua superfície com um plástico para evitar a evaporação e estudaram as variações de umidade em função do tempo e da profundidade. Após 5 dias de drenagem os fluxos descendentes de água foram considerados desprezíveis e neste instante o solo foi considerado em capacidade de campo. O ponto de murchamento permanente foi determinado em laboratório, em amostras de terra fina submetida a uma tensão de -15 atm na membrana de Richards.

* Bolsista do CNPq e aluna do Curso de Pós-Graduação de Solos e Nutrição de Plantas, da E. S. A. "Luiz de Queiroz", USP, Piracicaba (SP).

** Professores do Departamento de Física e Meteorologia, E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP, Piracicaba (SP) e pesquisadores junto ao CENA.

A irrigação foi feita por aspersão. Com esta irrigação pretendia-se apenas manter a cultura próxima à capacidade de campo para ter-se certeza de que a cultura tivesse evapotranspiração potencial. Seu controle foi feito através de medidas com sonda de neutrons, procurando manter a umidade do solo em torno da capacidade de campo.

2.2. Evaporação

Para medida de evaporação da água foram usados os tanques Classe A e GGI-3.000, ambos construídos obedecendo as normas fixadas pela Organização Mundial de Meteorologia.

Em cada tratamento foram colocados um tanque Classe A e um tanque GGI-3.000.

Diariamente, às 7 horas da manhã, foram feitas as leituras da evaporação dos tanques Classe A e GGI-3.000, para um período de 24 horas. A evaporação do dia é, portanto, a diferença entre duas leituras consecutivas.

2.3. Estimativa da evapotranspiração potencial

A estimativa da evapotranspiração potencial foi realizada pela fórmula proposta por PENMAN (1948) e adaptada para as condições do Estado de São Paulo por VILLA NOVA (1967), pelo método de Van BAVEL, 1952 (adaptação da fórmula de Panman), pelo método de THORNTHWAITE (1948) e pela fórmula sugerida por HARGREAVES (1974).

A evapotranspiração potencial segundo o método de PENMAN adaptado por VILLA NOVA (1957) foi estimada pela fórmula:

$$E = \frac{H + E_a}{L} \tag{2.1}$$

onde:

- E = evaporação (evapotranspiração) (mm/dia).
- H = balanço de energia diário. (mm/dia).
- Ea = poder evaporante do ar. (mm/dia).
- = constante dependente da temperatura.

A evapotranspiração potencial foi também estimada através do nomograma de Van BAVEL (1952), adaptação da fórmula de Penman, utilizando os seguintes parâmetros: radiação solar no topo da atmosfera, razão de insolação e temperatura.

A evapotranspiração potencial ainda foi estimada com o auxílio do nomograma de THORNTHWAITE (1948) o qual é baseado na temperatura média semanal e no índice de calor da região, também baseado na temperatura do ar. Os valores da evapotranspiração são ajustados para um mês de 30 dias e dias de 12 horas.

Utilizou-se também a fórmula sugerida por HARGREAVES (1974) para estimar a evapotranspiração potencial:

$$ETP = MF \times T \times CH \tag{2.2}$$

onde:

- MF = um fator mensal e que depende da latitude e época do ano (tabulado);
- T = a temperatura em °F,, média mensal;
- CH = 0,158 100 - UR;
- UR = a umidade relativa, média mensal.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na figura 1 e quadro 1 pode-se observar algumas características do microclima, no qual a cultura se desenvolveu.

Quadro 1 – Velocidade do vento (m.s⁻¹), média diária, a 200 cm de altura.

Período 1 De 03/04 a 10/04	Período 2 De 11/04 a 16/04	Período 3 De 17/04 a 22/04	Período 4 De 23/04 a 29/04	Período 5 De 30/04 a 06/05
0,838	0,719	0,797	0,685	0,734

Para análise de crescimento da cultura foi determinada a área foliar (AF), cujos dados estão apresentados na figura 1.

O máximo índice de área foliar ocorreu no tratamento irrigado com cobertura, com um atraso de sete dias em relação ao tratamento irrigado sem cobertura. Este atraso pode ser explicação pela menor variação da temperatura do solo em seus valores de amplitude diária.

As produções do feijoeiro estão apresentados no grupo 2.

QUADRO 2 — Dados da produtividade do feijoeiro em g. (10 m²)⁻¹, número de vagens. (10 m²)⁻¹ e número de pés. (10 m²)⁻¹.

Produção Tratamentos	g. (10 m ²) ⁻¹	Nº vagens (10 m ²) ⁻¹	Nº pés (10 m ²) ⁻¹
ICC	517,0	780,0	339,0
ISC	488,0	730,0	327,0
NICC	2.696,0	2.311,0	239,0
NISC	2.506,0	2.115,0	235,0

A análise de variância das produtividades mostrou que houve diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, na produção de grão nos tratamentos ICC e ISC. Entre a produção dos tratamentos irrigados e não irrigados houve diferença significativa ao nível de 1%. A produção nos tratamentos não irrigados não houve diferença significativa. No número de plantas por 10 m² não houve diferença nos 4 tratamentos enquanto que o número de vagens por 10 m² apresentou diferença significativa de 5% entre os tratamentos irrigados e não irrigados.

Na figura 2 é mostrada a evaporação diária dos tanques Classe A e GGI-3.000 nos quatro tratamentos. Nela pode-se verificar que nos tratamentos não irrigados as curvas tiveram a mesma tendência, o que nem sempre aconteceu nos tratamentos irrigados, talvez porque nestes tratamentos as plantas se desenvolveram mais impedindo que a superfície de água do tanque GGI-3.000, que está aproximadamente ao nível do solo, permanesse livre, enquanto que o tanque Classe A que é instalado acima do solo conservou sua superfície livre.

Colocou-se em gráficos a evaporação acumulada dos tanques Classe A dos tratamentos ICC, ISC e NICC em função da evaporação do tanque Classe A do tratamento NISC, que foi tomado como referência. Estes gráficos encontram-se na figura 3. Na própria figura encontram-se as respectivas retas de regressão. Os coeficientes de correlação, r, para cada reta, foram superiores a 0,98.

Como aparentemente não existe diferença entre as retas da figura 3, procedeu-se uma análise conjunta da evaporação dos tanques Classe A nos tratamentos ICC, ISC e NICC em função da evaporação do tratamento NISC e também foi encontrado elevado coeficiente de correlação de 0,99, o que confirma não ter havido diferença da evaporação entre os tratamentos.

Estudo semelhante foi feito com os dados da evaporação dos tanques GGI-3.000, figura 4. Neste caso, embora para cada regressão linear entre a evaporação dos tanques GGI-3.000 nos tratamentos ICC, ISC e NICC versus NISC os coeficientes de correlação sejam superiores a 0,99, no conjunto, o coeficiente de correlação foi 0,89 demonstrando uma diferença entre os tratamentos.

A fim de saber o grau de significância entre a evaporação dos tanques Classe A e entre a evaporação dos tanques GGI-3.000, recorreu-se ao Teste T, in PIMENTEL GOMES (1971) e pode-se concluir que a evaporação do tanque Classe A não apresentou diferença significativa nem a 10% de probabilidade nos quatro tratamentos. Por isso, a evaporação do GGI-3.000 nos tratamentos ISC versus ICC e NISC versus NICC apresentou diferença significativa com 1% de probabilidade, nos tratamentos NISC versus ICC e NICC versus ICC com 5% de probabilidade e finalmente, nos tratamentos NISC versus ISC e NICC versus ISC observou-se diferença significativa com 10% de probabilidade.

Desta análise pode-se concluir que o tanque Classe A não é tão sensível ao microclima quanto o GGI-3.000. Isto, talvez, pela própria situação dos tanques, enquanto a superfície livre de água do Classe A fica a 35,0 cm do solo, a superfície de água livre do GGI-3.000 fica no mesmo plano do solo, como já foi visto anteriormente. Nesta situação o tanque Classe A está mais exposto às condições de vento e radiação solar.

A evapotranspiração potencial estimada por Van Bavel, Thornthwaite e Hargreaves em função da evapotranspiração potencial estimada pelo método de Penman e as respectivas retas de regressão pode ser vista na figura 5. A evapotranspiração potencial estimada pelo método de Penman foi considerada padrão por utilizar maior número de parâmetros. A evapotranspiração potencial acumulada estimada pelas fórmulas teórico-empíricas, para

o período de 5 semanas, variou de 63,8% mm pelo método de Thornthwaite, a 95,0 mm pela fórmula de Hargreaves. Enquanto o método de Thornthwaite subestimou a evapotranspiração potencial, a fórmula de Hargreaves superestimou. Pelos métodos de Penman e Van Bavel a evapotranspiração potencial acumulada foi de 90,5 e 80,0 mm, respectivamente, diferença esta considerada não significativa.

Foi efetuada também a análise de regressão dos dados da evaporação acumulada do tanque GGI-3.000 nos quatro tratamentos e da evapotranspiração potencial acumulada segundo Penman, Van Bavel, Thornthwaite e Hargreaves, em função da evaporação média do tanque Classe A nos quatro tratamentos, considerando que a evaporação observada no tanque Classe A não apresentou diferença significativa nos quatro tratamentos estudados.

Finalmente apresentou-se os seguintes fatores de correção:

Classe A / Hargreaves	.086
Classe A / Penman	.070
Classe A / Van Bavel	.062
Classe A / Thornthwaite	.048
Classe A / GGI-NISC	.097
Classe A / GGI-NICC	.107
Classe A / GGI-ISC	.068
Classe A / GGI-ICC	.064

O tanque Classe A superestimou a evapotranspiração potencial estimada pelos métodos de Penman, Van Bavel, Thornthwaite e Hargreaves e a evaporação do tanque GGI-3.000 nos tratamentos irrigados, no entanto, foi semelhante a evaporação do GGI-3.000 nos tratamentos não irrigados. É possível que nas condições de solo seco, o tanque GGI-3.000 sofra as consequências da variação de temperatura do solo aumentando a taxa de evaporação.

4 – RESUMO

O presente trabalho trata da estimativa da evapotranspiração em feijão comum, *Phaseolus vulgaris*, L. cultivar "carioca", utilizando tanques de evaporação tipo Classe A e GGI-3.000 e pelas fórmulas empíricas clássicas de PENMAN (1948) adaptada para as condições meteorológicas do Estado de São Paulo por VILLA NOVA (1967), Van BAVEL (1952), THORNTHWAITE (1948) e HARGREAVES (1974). Foi analisado o efeito do uso de água e cobertura morta sobre a produção da cultura..

Os dados obtidos indicam que o tanque evaporímetro GGI-3.000 é mais sensível ao microclima do que o tanque Classe A.

As estimativas da evapotranspiração pelas fórmulas teórico-empíricas indicam uma super estimativa pelo método de Hargreaves e uma subestimativa pela equação de Thornthwaite em relação à estimativa segundo o método de Penman.

Finalmente são apresentados os coeficientes de correção entre os diferentes métodos e a evaporação do tanque Classe A.

5 – LITERATURA CITADA

- HARGREAVES, G.H. — Potencial evapotranspiration and irrigation requirements for Northeast Brazil. Utah State University (contract nº AID/csd — 2169), 1974. tt p).
- PENMAN, H.L. — Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. R. Soc., Serie A: Mathematical and Physical Sciences*, London, **193**: 120-145, 1948.
- PIMENTEL GOMES, F. — *Curso de Estatística Experimental*. 4ª ed. São Paulo. Livraria Nobel, 1970. 430 p.
- PANZANI, G.; FREIRE, O.; KINJO, T. — Cartas de Solos do Município de Piracicaba. Centro de Estudos de Solos. ESALQ-USP, Piracicaba, 1966. 85 p.
- REICHARDT, K. & LIBARDI, P.L. — An analysis of soil-water movement in the field. I. Hidrological field site characterization. BC-021, CENA-ESALQ-USP, Piracicaba-SP, 1974a. 21 p.

- and SANTOS, J.M. dos — An analysis of soil-water movement in the field. II. Water balance in a snap bean crop. BC-022, CENA-ESALQ-USP, Piracicaba-SP, 1974b. 19 p.
- THORNTHWAITE, C.W. — An approach toward a rational classification of climate. **Geogl. Rev.** **38**(1): 55-94, 1948.
- Van BAVEL, C.H. M. & WILSON, T.V. — Evapotranspiration estimates as criteria for determining time of irrigation. **Agric. Eng., Mich.**, 33: 417-428, 1952.
- VILLA NOVA, N.A. — A estimativa da evaporação potencial do Estado de São Paulo. Piracicaba-SP, 1967. 66 p. Tese Doutorado, ESALQ .

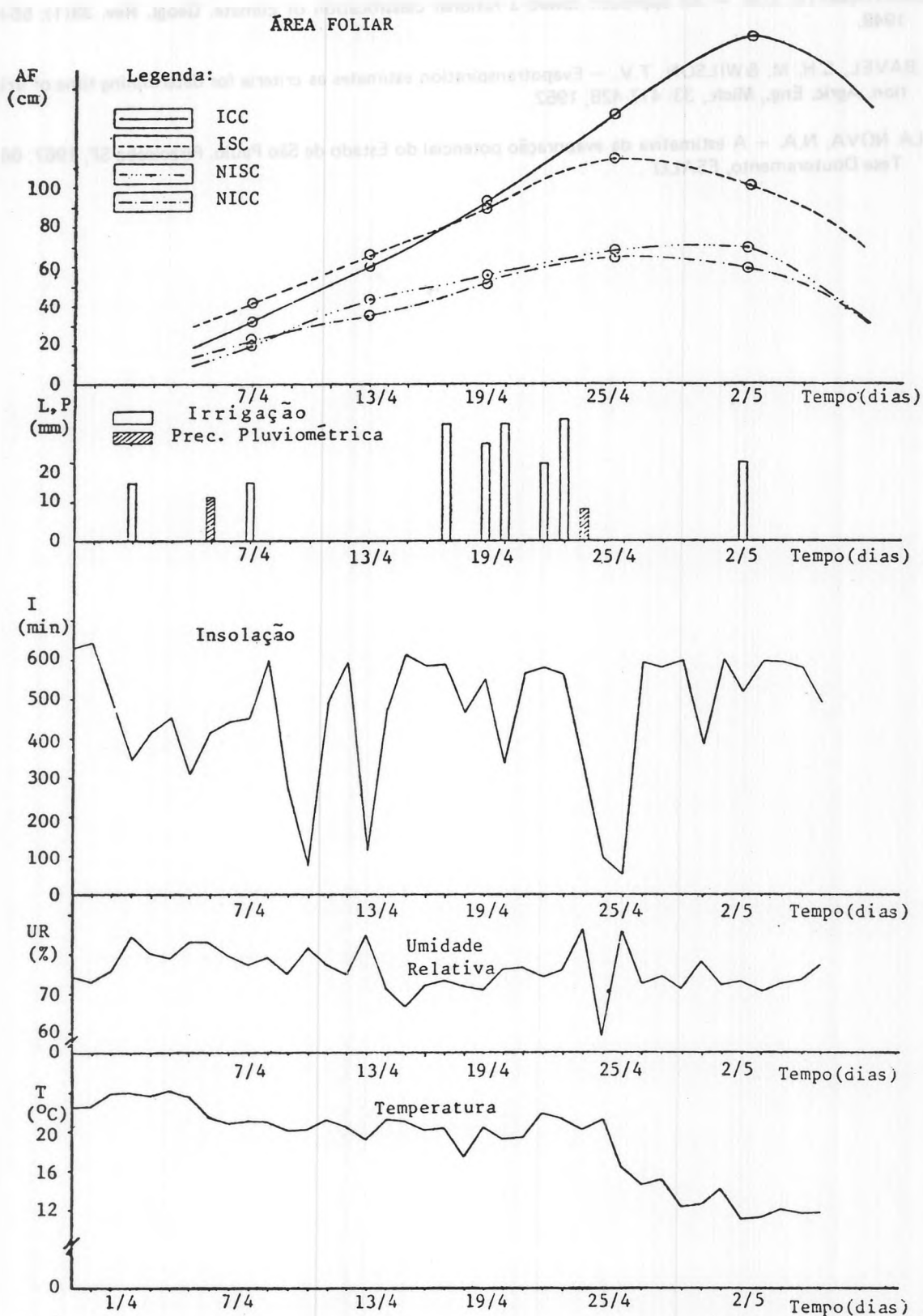


Fig. 1 — Variação de temperatura, T (°C); Umidade relativa, UR(%); horas de Insolação, I(min); precipitação, P(mm); Irrigação, L (mm) e área foliar, (cm) nos tratamentos NISC, NICC, ISC e ICC no período de 29 de março a 6 de maio de 1974.

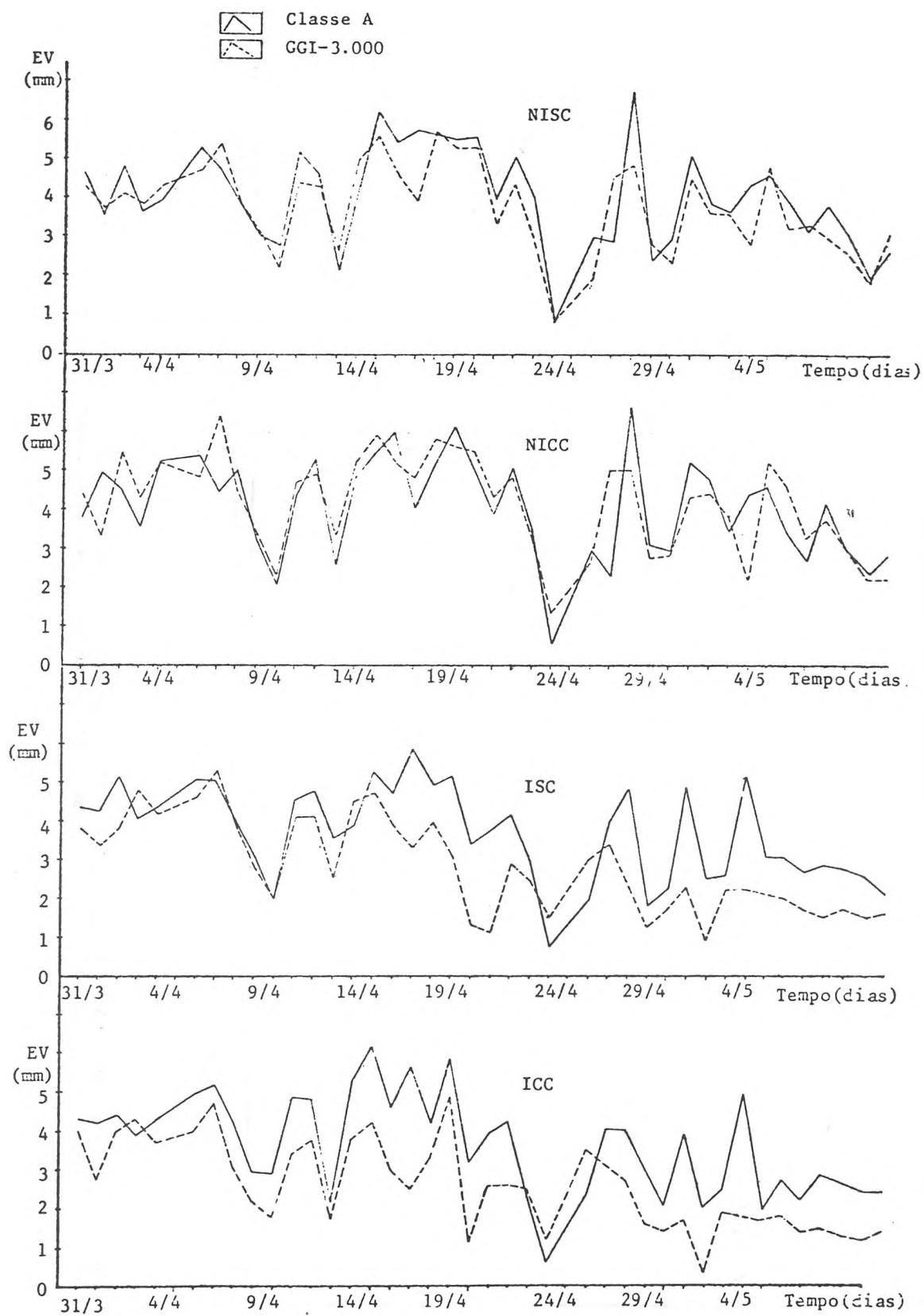


Fig. 2 — Valores da evaporação diária EV (mm/dia) dos tanques Classe A e GGI-3.000 nos tratamentos NISC, NICC, ISC e ICC no período de 29 de março a 5 de maio de 1974.

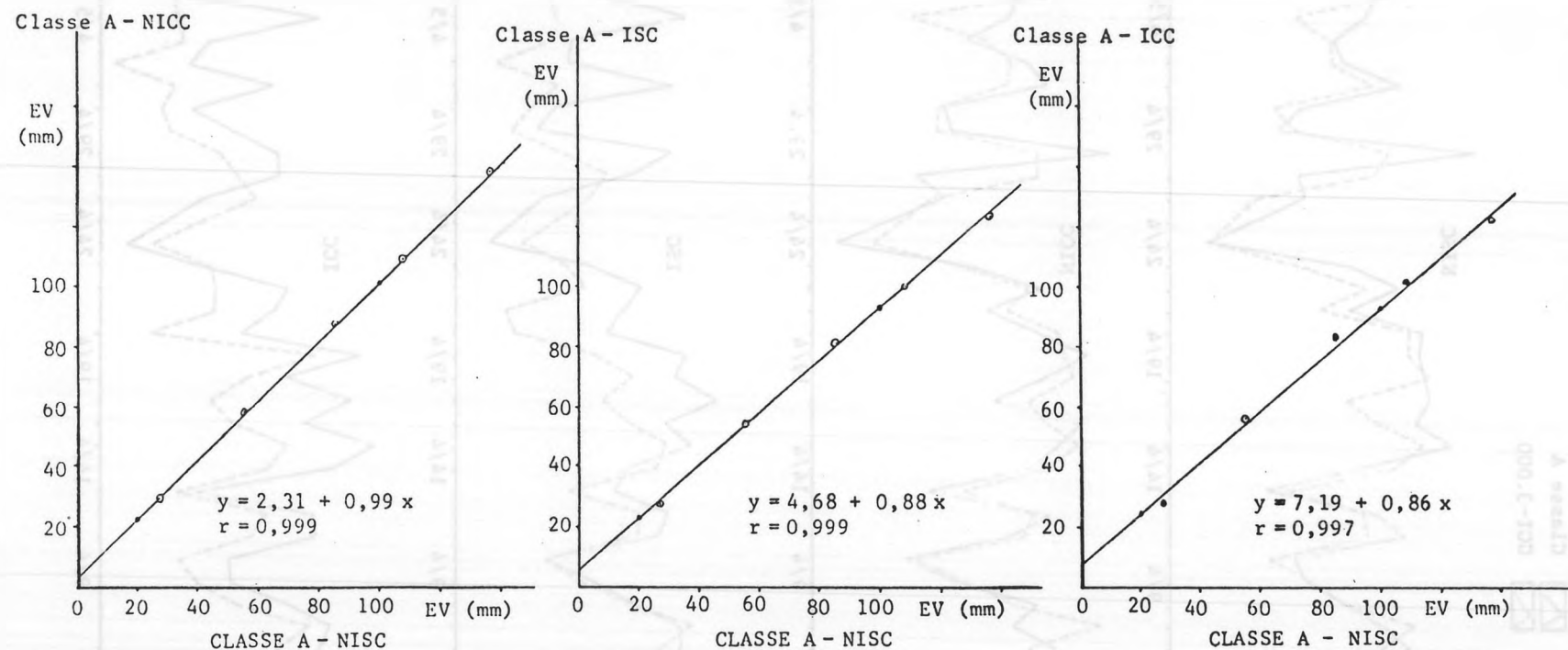


Fig. 3 — Valores acumulados da evaporação, EV em mm, do tanque Classe A — NISC versus os valores acumulados da evaporação do tanque Classe A nos tratamentos ICC, ISC e NICC no período de 29 de março a 06 de maio de 1974, as respectivas retas de regressão e coeficientes de correlação.

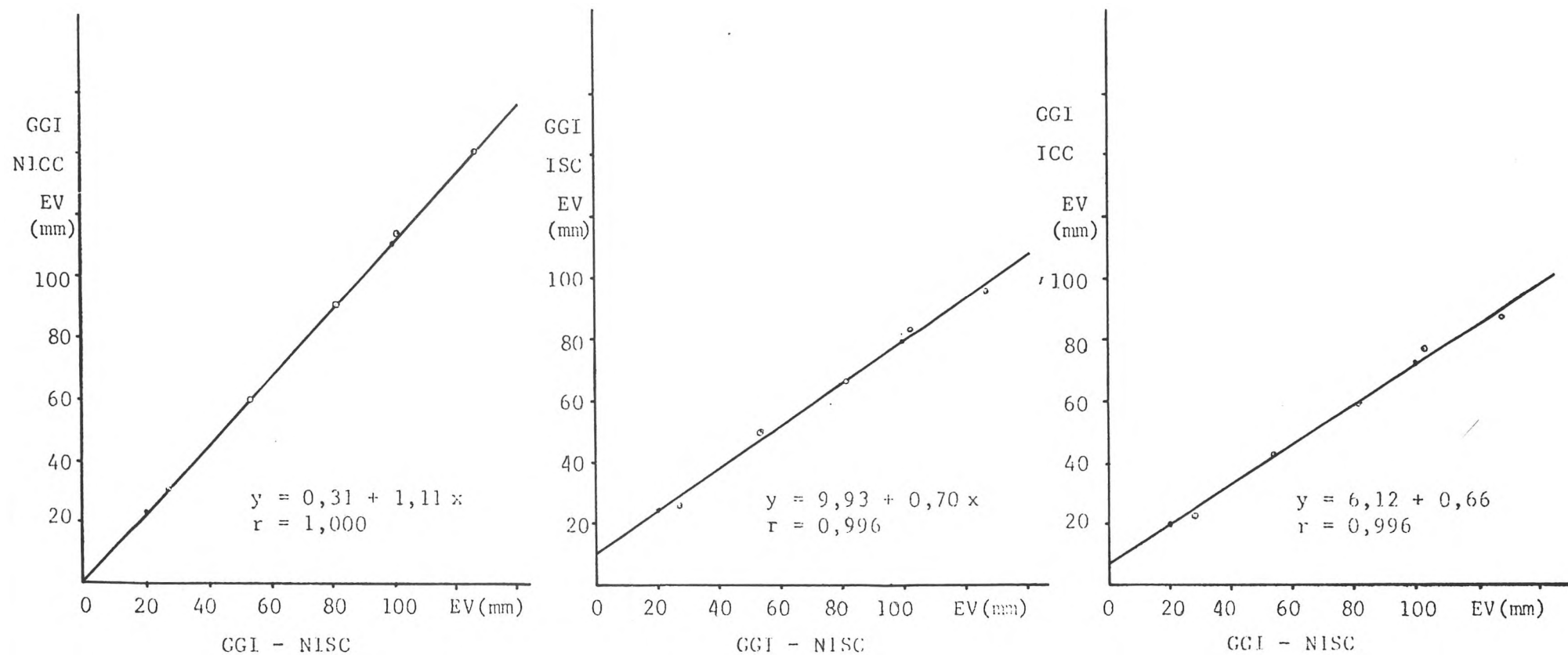


Fig. 4 — Valores acumulados da evaporação, EV, em mm, do tanque GGI—3.000 — NISC versus os valores acumulados da evaporação do tanque GGI—3.000 nos tratamentos ICC, ISC e NICC no período de 29 de março a 06 de maio de 1974, as respectivas retas de regressão e coeficiente de correlação.

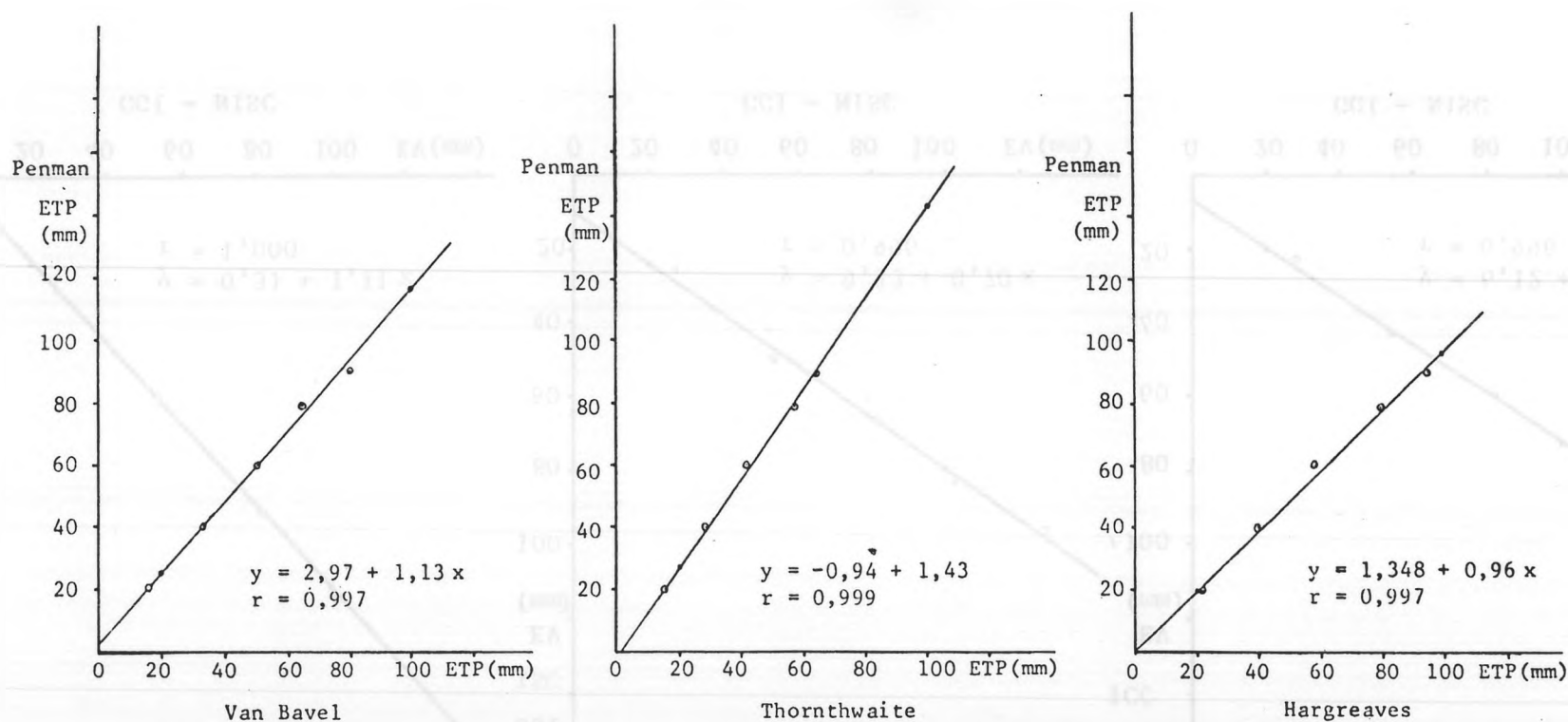


Fig. 5 - Valores acumulados da evapotranspiração potencial, ETP (mm), segundo Penman versus os valores da

Fig. 5 - Valores acumulados da evapotranspiração potencial, ETP (mm), segundo Penman versus os valores da evapotranspiração potencial estimada por Van Bavel, Thornthwaite e Hargreaves no período de 29 de março a 06 de maio de 1974, as respectivas retas de regressão e coeficientes de correlação.

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR NO SUB-MÉDIO SÃO FRANCISCO

Octávio Pessoa Aragão *

SUMÁRIO

A determinação da Evapotranspiração da cana-de-açúcar (*saccharum officinarum*), híbrido B.4362, foi obtida em parcelas experimentais, pela depleção da água do solo, determinada pelo método gravimétrico, com amostragem antes e após as irrigações. Os tratamentos de umidade consistiram em aplicar irrigação às parcelas, quando o tanque Classe A-USWB (com bordadura gramada de 30 m), apresentava as seguintes evaporações acumuladas: B = 80, N = 100, Q = 120, S = 140 mm. Os coeficientes Evapotranspiração (ET) Evaporação tanque (E_t), oscilaram 0,53; 0,85; e 1,14. A relação 0,53 corresponde ao início das determinações, aos 99 dias após o plantio, quando a cultura cobria parcialmente o solo. A relação 0,85 ocorreu aos 143 dias, quando a cobertura do solo atingiu 100%; e 1,14 representa a correlação sob as condições mínimas de demanda evaporativa.

Houve correlações entre as evaporações do tanque, correspondentes aos tratamentos de irrigação, com as produtividades e às diferentes depleções de umidade do solo. A análise estatística mostrou diferença significativa entre produtividades a níveis de 5% de probabilidade, com $F = 1$.

Observou-se que as tensões 0,3 e 15 atm. não podem ser recomendadas nestes solos, para cálculos de água disponível; e a relação entre Máxima Evapotranspiração Atual e a E_t pode no período em estudo ter a seguinte representação:

$$MET_a = E_t [1 - (0,0306E_t - 0,1717)]$$

INTRODUÇÃO

Há mais de um século que a cana-de-açúcar é cultivada sob um sistema precário de irrigação, nas margens do Sub-Médio São Francisco e seus tributários.

A atual política desenvolvimentista do Governo e a grande demanda mundial de açúcar, aliadas às excelentes condições do complexo solo-água-clima desta área, despertaram interesse de empresários para instalar na região Agroindustrial Açucareira.

Em face da necessidade urgente de informações sobre Evapotranspiração para o dimensionamento racional dos Projetos de Irrigação, executou-se este experimento com o híbrido B.43-62, que tem apresentado produtividade razoável e no momento oferecia disponibilidade de sementes.

Os fenômenos que normalmente ocorrem no complexo solo-água-planta e condições climáticas são em sua maioria qualitativamente conhecidos, mas, suas intensidades de interrelações são peculiares e específicas de áreas que apresentam condições "sui generis", como a do Sub-Médio São Francisco, necessitando assim informações locais.

Revisão bibliográfica

A relação entre rendimento da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e uso consuntivo é relatado por Campbell (4) sob os seguintes aspectos:

- O ciclo da cultura, na relação Uso Consuntivo (UC)/Evaporação tanque (E_t), pode convenientemente ser dividido em quatro períodos distintos: 1) Cobertura parcial do solo, 2) Máxima taxa UC/ E_t , 3) Após início da senescência, e 4) Amadurecimento/colheita.
- Há uma relação de 1,2 ton. de cana/acre-in de água (0,012 kg. de cana/1 de água) em trabalhos realizados no Havai, por um período de dois anos.

Arkley (2), determinou que a transpiração está associada com a produção de matéria seca. Ashton (3) nos estudos sobre as relações das percentagens de umidade do solo e taxa fotossintética, verificou que esta não de-

* Engº Agrº, M.S. em Irrigação — Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco — CODEVASF.

cresceu até a umidade disponível de 40%. Observou ainda que alto teor de umidade no solo acarreta um ligeiro decréscimo na fotossíntese. Veihmeyer e Hendrickson (17), apresentaram a thesis que a Evapotranspiração continua na taxa de potencial até próximo ao ponto de murchamento, quando cai bruscamente. Thornthwaite e Mather (16) relatam um declínio linear de Evapotranspiração com o aumento de tensão. "Pierce's Curve" (13), indica um termo intermediário entre os dois pesquisadores anteriores. Chang (5) salienta que as diferentes conclusões experimentais são conseqüências das diferentes condições de clima e solo dos locais onde foram executados os referidos trabalhos.

Israelsen (9), comenta que a água de percolação pode acarretar imprecisão na determinação do UC pelo método gravimétrico. Trabalhos realizados na Estação Experimental de Mandacaru DRN/SUDENE por Aragão (1), mostra umidades relativamente baixa nas camadas do solo abaixo do sistema radicular dos cultivos, não possibilitando a ocorrência de erro mensurável nas determinações de Evapotranspiração pelo método gravimétrico. Salienta ainda que após a irrigação há permanência de umidade elevada, por longo tempo, nas camadas superficiais do solo, mostrando a necessidade de um eficiente sistema de drenagem superficial em parcelas experimentais.

MATERIAL E MÉTODOS

Este experimento, em forma de Blocos ao Acaso com quatro repetições, foi conduzido na Estação Experimental de Mandacaru — CODEVASF.

A área compreende de solos Vertissolos de textura bastante argilosa, pobre em nitrogênio e fósforo, com pH variando de 7,0 a 8,5, e profundidade média de 1,50 m. Encontra-se a 40° 24'W Greenwich, latitude de 9° 26' Sul, e, aproximadamente, a 375 m. de altitude. O clima é Semi-árido, com uma média pluviométrica de 350 mm., em 20 anos. A temperatura no decorrer do ano, varia da máxima mensal de 30°C à mínima de 16°C.

Para determinação da Máxima Evapotranspiração Atual (ET_a) da cultura sob diferentes intervalos de irrigação foram aplicados quatro tratamentos de umidade no solo, definidos pela demanda evaporativa, representada pela Evaporação do tanque Classe A-USWB (com um gramado de bordadura de 30 m.). Os tratamentos corresponderam as seguintes evaporações acumuladas: B = 80, N = 100, Q = 120, S = 140 mm. Antes e após as irrigações o solo foi amostrado, nas seguintes profundidades: 0-5, 5-20, 20-35, 35-50, 50-65, 65-80 cm.

A curva de tensão de umidade do solo (fig. 1) foi obtida em laboratório (*) e a densidade aparente foi determinada com anel de Kopecky.

No preparo do solo realizou-se um revolvimento de 20 cm. de profundidade e o plantio da área experimental foi concluído em 27/06/72. O experimento recebeu adubação básica de N e P e a densidade de 10 gemas/m., colocadas dentro de sulco de irrigação, distanciados de 1,30 m.

As irrigações foram aplicadas uniformemente em todas as parcelas até 01/10/72, quando deu-se início aos diferentes tratamentos de irrigação. A última irrigação referente aos tratamentos foi aplicada no dia 29 de abril de 1973, quando teve reinício condições uniformes de umidade em todo o experimento, até a colheita.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Embora tenha havido estatisticamente diferença significativa entre produtividades (quadro 1) a nível de 5% de probabilidade com F = 1, o C.V. foi de 33%, possivelmente conseqüência dos efeitos de bordadura sobre as parcelas localizadas na periferia, principalmente dos bardos Este e Sudeste, no decorrer do primeiro período de crescimento do cultivo. As freqüentes precipitações pluviométricas não permitiram visíveis diferenças entre as determinações da ET dos diversos tratamentos pelo método gravimétrico (figura 2). O quadro seguinte contém informações sobre o número de irrigações e lâmina d'água aplicadas.

QUADRO 1

TRATAMENTOS DE UMIDADE	B	N	Q	S
ET (mm)	1.313	1.225	1.219	1.196
Número de Irrigações	13	11	10	8
Lâmina d'água por irrigação (mm)	84,77	95,15	103,40	117,58
Precipitação Pluviométrica (mm)	392,2	392,2	392,2	392,2
Produtividade (ton/ha)	152,7	151,1	137,2	134,4
Peso Médio das Canas (kg).	2,42	2,48	2,52	2,42

* Laboratório de Solos da SUDENE — Petrolina - PE

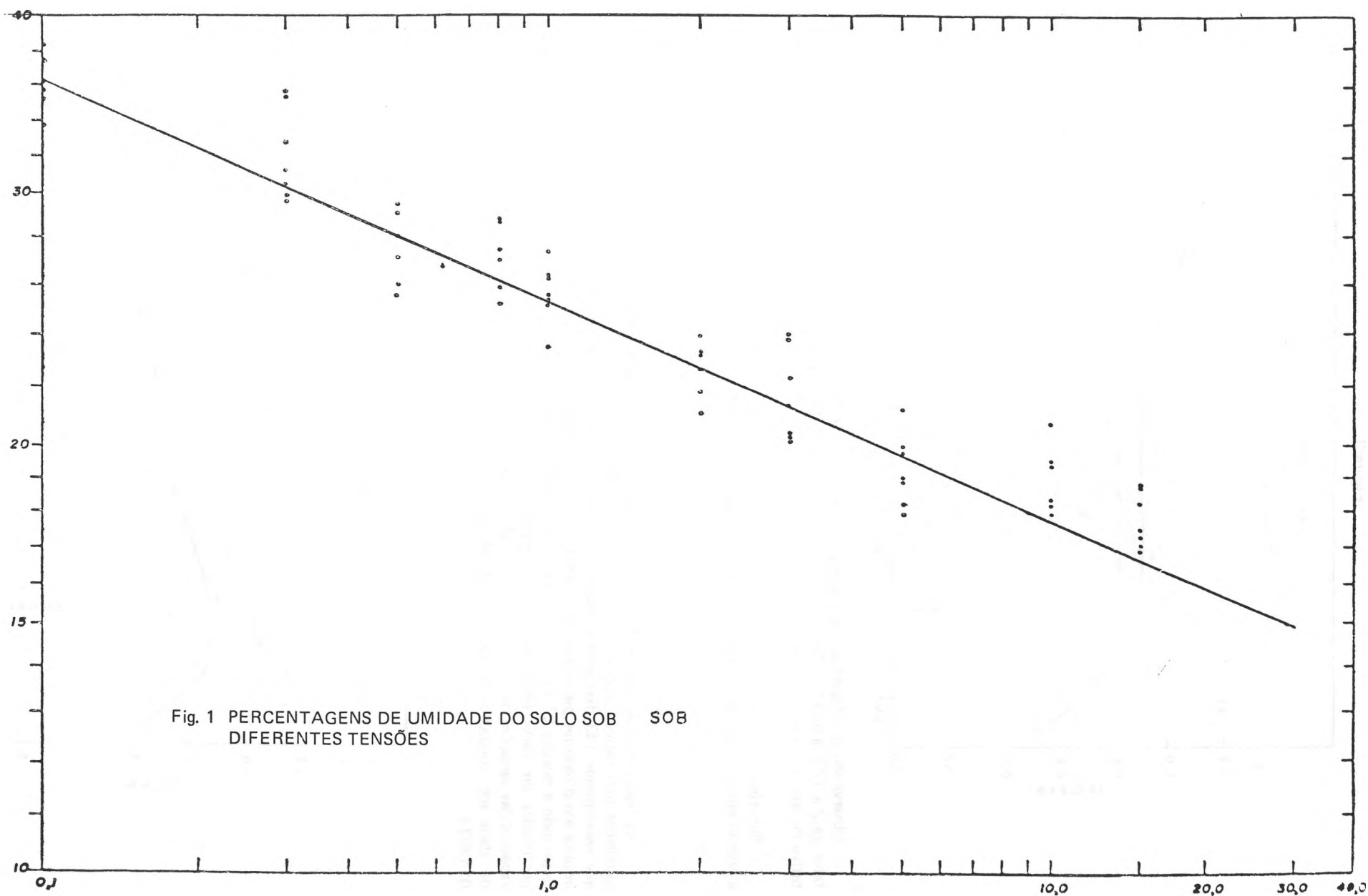
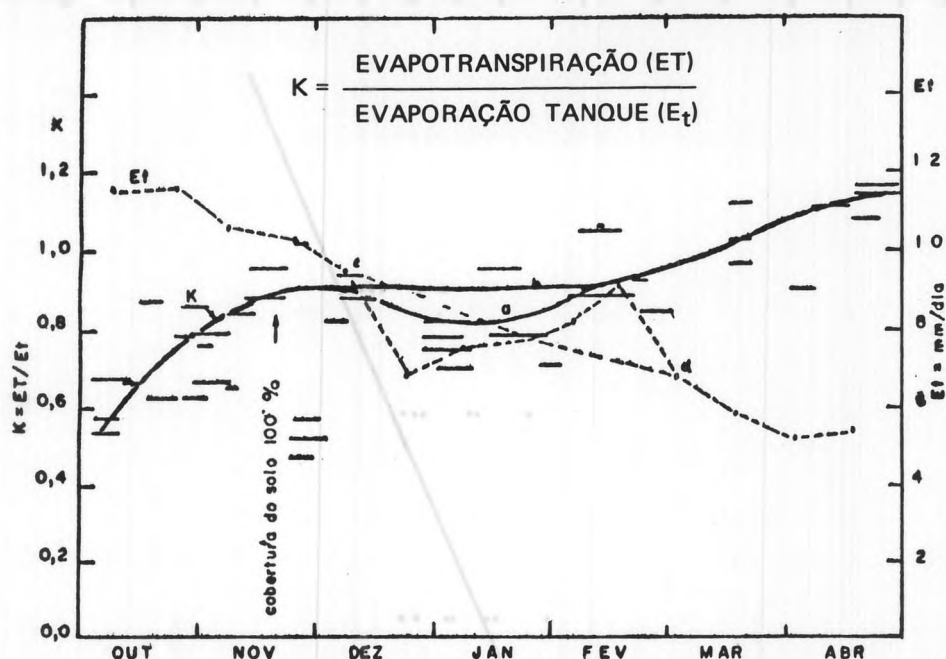


Fig. 1 PERCENTAGENS DE UMIDADE DO SOLO SOB DIFERENTES TENSÕES

Figura 3



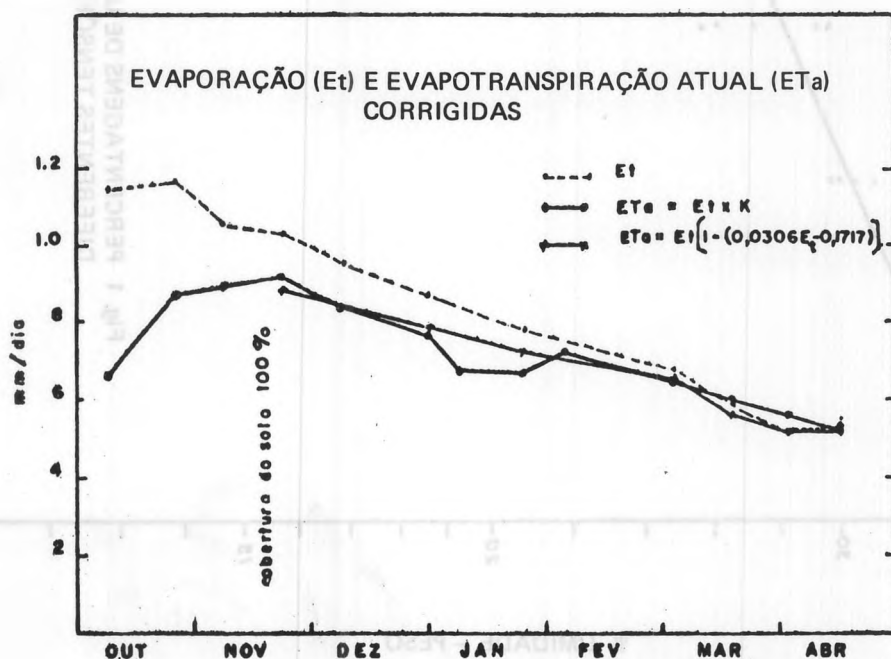
Observando-se a figura acima a alta consistência dos segmentos k inicial e final e, também, as médias desse fator de 2 a 17/2 e de 11 a 20/1, conclui-se ao considerar dados bibliográficos, que o segmento b é mais representativo de fator K no referido período.

Substituindo-se as oscilações evaporativas entre os pontos c e d por um decréscimo gradativo cd Figura 3, a relação entre Evapotranspiração atual e Evaporação do tanque pode ter a seguinte relação.

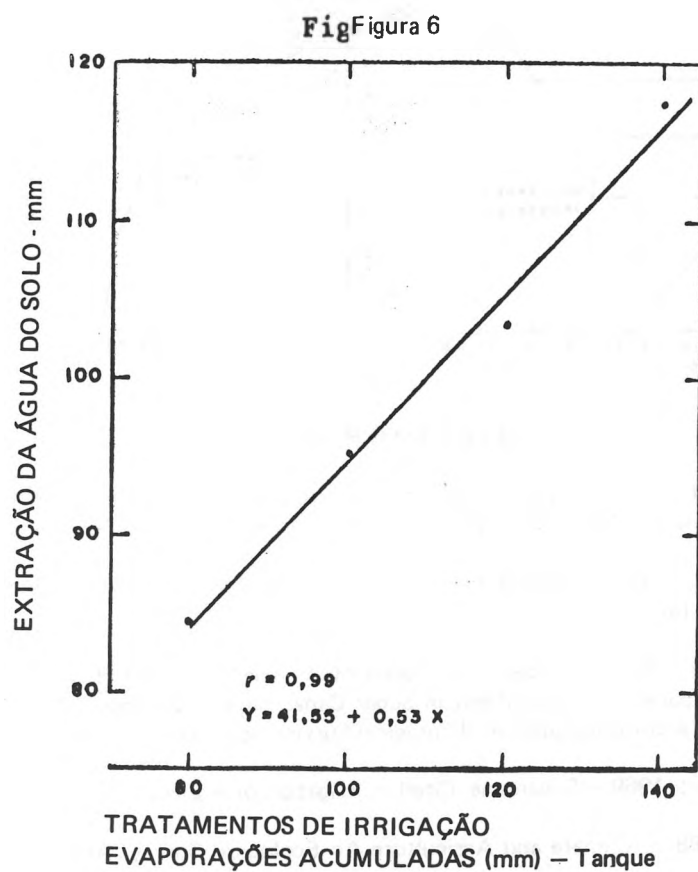
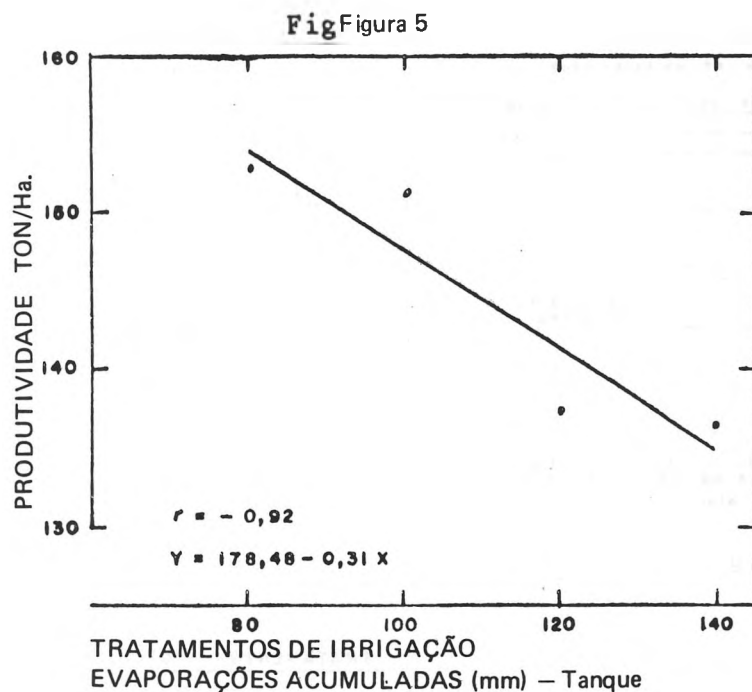
$$MET_a = E_t [1 - (0,0306E_t - 0,1717)]$$

Na figura 4 estão representadas a Evaporação do tanque (E_t), a Máxima Evapotranspiração atual (MET_a) calculadas pela relação acima e pelo fator K corrigido. As variações do coeficiente ET/E_t até 20 de novembro, que corresponde 143 dias após o plantio, são consequências da gradativa cobertura do solo pelo cultivo, que implica em diferentes percentagens de transformação da radiação solar neta em calor sensível e latente. Após este período a relação $ET/E_t = K$ apresentou variações entre 0,85 a 1,12, no decorrer do ciclo, que podem ser justificadas, em parte, pelas thesis de Veihmeyer, Thornthwaite e Pierce, analisadas e explicadas por Chang sob aspectos das variações da demanda evaporativa. O valor 1,14, correspondeu à última determinação, aos 307 dias de idade sob condições de baixa demanda evaporativa. Aos 360 dias fez-se a colheita do experimento, em 01/06/73.

Figura 4



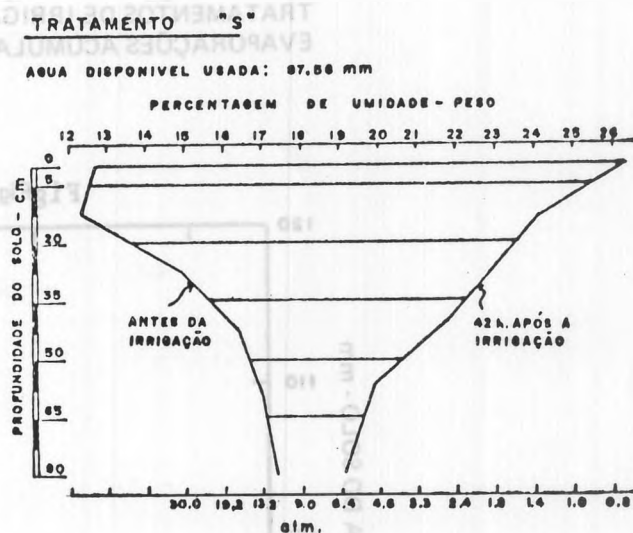
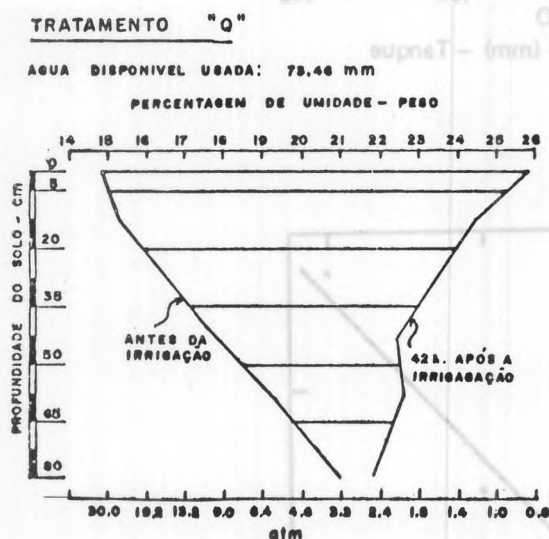
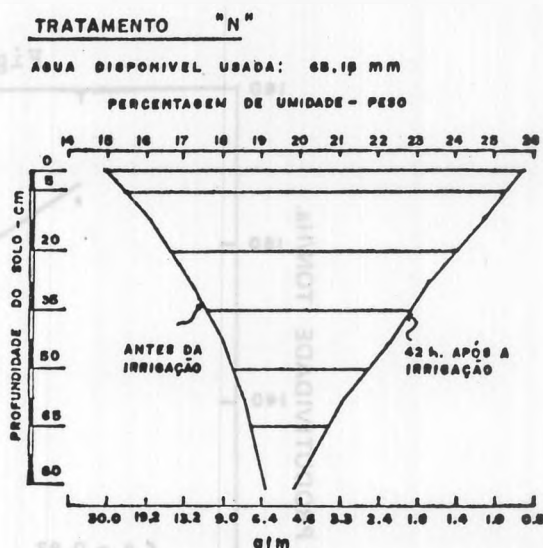
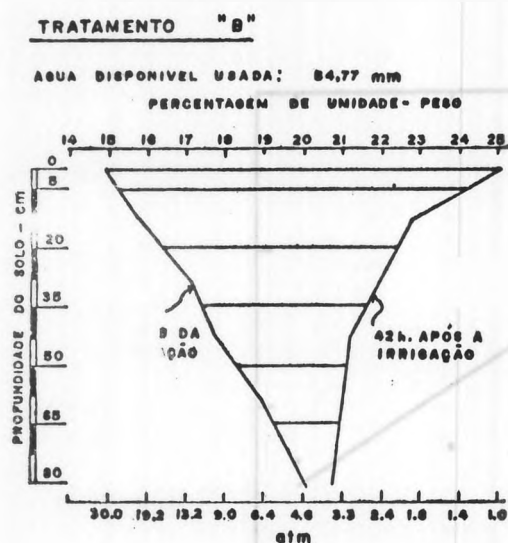
Houve correlações entre as evaporações do tanque, representativas dos diferentes intervalos de irrigação, com as produtividades e as diferentes depleções de umidade do solo, referente aos tratamentos (fig. 5 e 6).



A forma de umedecimento do solo pelas irrigações e a extração da mesma pelo sistema radicular das plantas dos diferentes tratamentos de irrigação, indicam uma diminuição gradativa de água disponível com a profundidade do solo. Observa-se que de 85 a 100 cm. a umidade do solo é relativamente baixa, retida sob altas tensões, negligenciando qualquer movimento d'água, pelo efeito da gravidade, para as camadas mais profundas. Figuras 7, 8, 9 e 10. Comparando-se as umidades dos perfis de extração dos diferentes tratamentos com as tensões de umidade determinadas em laboratório (fig. 1), observa-se que as tensões 0,3 a 15 atm. não apresentam condições para cálculo de água disponível nestes solos.

Figura 7

Figura 8



BIBLIOGRAFIA

1. ARAGÃO, O.P., 1971 — Algodoeiro Herbáceo nos Grumossolos Irrigados do Sub-Médio São Francisco. Estação Experimental de Mandacaru DRN/SUDENE. Juazeiro, Ba. pp. 27-28.
2. ARKLEY, R.J., 1963 — Relationship Between Plant Growth and Transpiration. Hilgardia. 34: 559-584 Cited in Campbell (4).
3. ASHTON, F.M., 1956 — Effects of Series of Cycles of Alternating Low and High Soil Water Contents on the Rate of Apparent Photosynthesis in Sugar Cane. Plant Physiology, 31: 266-74. Cited in Chang, Jen-Hu. Climate and Agriculture An Ecological Survey, pp. 120 (5).
4. CAMPBELL, B. Robert, 1969 — Sugarcane. Cited in Irrigation of Agricultural Lands. pp. 649-654 (7).
5. CHANG, Jen-Hu, 1968 — Climate and Agriculture An Ecological Survey. Aldine Publishing Co./Chicago.
6. DILLEWIGN, C. Van, 1952 — Botany of Sugarcane. The Chronica Botanica Co. Waltham, Mass. USA.
7. HAGAN, Robert M. et al, 1976 — Irrigation of Agricultural Lands — American Society of Agronomy, number 11, pp. 593-597, 651, 652. Wisconsin. USA.
8. HAGOOD, Mel A., 1964 — Irrigation Scheduling from Evaporation Reports. Extension Circular 341, March. Institute of Agricultural Sciences, Washington.

9. ISRAESEN, Orson W. and Hansen, Vanghn E., 1967 — Irrigation Principles and Practices. New York, J. Wiley and Sons.
10. JENSEN, Marvin et all, 1970 — Scheduling Irrigation Using Climate — Crop-Soil Date. Journal of the Irrigation and Drainage Division. Vol. 96. No IR 1, Proc paper 7131, March, pp. 25-38 Amer. Soc. of Civil Engineers.
11. KING, Norman J. et all, 1965 — Manual of Cane Growing. American Elsevier Publishing Co, Inc. New York.
12. PECK, E.L. and H. Duane, 1969 — A Dual Purpose Evaporimeter. Presented at the 50 th Annual Meeting of the American Geophysical Union, April, Washington.
13. PIERCE, L.T., 1958 — "Estimating Seasonal and Shorterm Fluctuation in Evapotranspiration from Meadow Crops". In American Meteorological Society, Bulletin 39.
14. PRUITT, W.O., 1966 — Empirical Method of Estimating Evapotranspiration Using Primarily Evaporations Pans, Proc. Amer. Soc. of Agricultural Engineers, Dec. pp. 57-61.
15. PRUITT, W.O., 1964 — Evapotranspiration — A Guide to Irrigation, University of California. USA.
16. THORNTHWAITTE, C.W., and J.R. Mather, 1955b. "The Water Budget and Its Use in Irrigation". In U.S. Department of Agriculture Yearbook.
17. VEIHMEYER, F.J., and A.A. Hendrickson, 1955. "Does Transpiration Decrease as the Soil Moisture Decreases?". Transactions, American Geophysical Union, 36: 425-48 (5).

RECOMENDAÇÕES GERAIS

1. A distribuição de umidade no perfil do solo mostra a necessidade de estudos sobre profundidades de revolvimento do mesmo para proporcionar maior teor de água disponível.
2. Até que dados mais significativamente acurados venham a ser obtidos localmente, recomenda-se, para cálculo da Máxima Evapotranspiração Atual da Cana-de-Açúcar a fórmula seguinte, que leva em conta a Evaporação do tanque (E_t) sob uma bordadura gramada de 30 m. Torna-se necessário, em extensos cultivos, corrigir o efeito da energia advectiva.

$$MET_a = E_t \left[1 - (0,0306E_t - 0,1717) \right]$$

Obs.: A relação E_t com bordadura gramada/ E_t sem bordadura gramada = 0,86

3. Subsídios bibliográficos para os estudos da determinação da ET, do plantio até o início da cobertura total do solo, podem ser encontrados na literatura citada 1 e neste trabalho que mostra os valores iniciais da ET, o número de dias correspondentes ao referido período, e a máxima ET atual.
4. Parcelas experimentais cultivadas no período quente e seco do ano, devem receber suficiente bordaduras para evitar erros experimentais, conseqüentes do efeito de advecção sobre as faixas de cultivo, principalmente as situadas a Este e Sudeste.
5. Devem ser realizados estudos sobre tensões de umidade no complexo solo-planta, do início da senescência até próximo a colheita, para obtenção da máxima tonelage de açúcar por hectare.
6. Recomenda-se estudo sobre ciclo e período de maturação dos híbridos mais promissores.
7. Recomenda-se estudos sobre interações de tensão de umidade do solo versus níveis de nitrogênio, em solos com revolvimento profundo.
8. Recomenda-se determinações de correlações Evapotranspiração/Evaporação do tanque, situado no topo da cultura.
9. É de necessidade urgente estudo sobre a solubilidade do fósforo colocado em fundação dentro do sulco por ocasião do plantio, após abacelamento da cultura.

RELAÇÕES ENTRE A EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL DA ALFAFA (*Medicago sativa*) E GRAMA (*Sphenotaphrum secundatum*) COM TANQUES CLASSE-A SOB DIFERENTES EXPOSIÇÕES

Octavio Pessoa de Aragão *
Joanildo Pereira de Araújo **

SUMÁRIO

Durante o período de junho/73 a maio/74, determinou-se, na Estação Experimental de Mandacaru, evaporações de diferentes sistemas evaporimétricos. Observou-se que na cultura da alfafa, sob condições ótimas de umidade no solo, o processo de Evapotranspiração Potencial (ETP) é comparativamente semelhante a evaporação do tanque classe A-USWB (E_t), quando protegidos por bordaduras de plantas idênticas em área. Entretanto a relação da ETP da grama/ E_t foi em média 0,51 para o tanque sem gramado e 0,59 para o tanque situado sob bordadura gramada. Constatou-se que os diferentes usos consuntivos entre alfafa e grama eram acompanhados por diferenças em temperaturas entre ambas.

Estudos comparativos dos diversos sistemas evaporimétricos mostraram correlações entre si. A relação entre E_t com bordadura gramada e T_t sem bordadura gramada foi de 0,86, havendo no entanto, pequenas variações nos diferentes períodos do ano.

INTRODUÇÃO

Na região do Sub-Médio São Francisco, onde foi realizado este trabalho, a CODEVASF pretende desenvolver intensamente a agricultura irrigada. Para o dimensionamento racional e econômico das estruturas hidráulicas dos sistemas de irrigação, torna-se necessário dados locais sobre Evapotranspiração.

O termo Evapotranspiração representa as perdas de água do solo, das superfícies das plantas e do processo de transpiração. O fator mais importante do processo é a energia solar incidente na superfície terrestre. A superfície livre da água absorve de 90 a 95% dessa energia; nas culturas, esta absorção é inferior e está entre 70 a 90% dependendo das características genéticas da planta.

A determinação da Evapotranspiração (ET) por meio de lisímetros possibilita medições acuradas do uso da água do cultivo em períodos relativamente curtos. Quando a cultura possui acentuada característica hidrófila e está sob condições ótimas de umidade e nutrientes, com máxima cobertura do solo, a ET é representada pela forma de Potencial (ETP), e depende quase que exclusivamente das condições climáticas representada pela demanda evaporativa.

As mais representativas determinações da Evapotranspiração, quando não existe dados obtidos "in loco" em lisímetros ou experimentação, são as estimadas por meio de dados locais da Evaporação do tanque Classe A (E_t).

Considerando igualmente a demanda evaporativa sobre a superfície da água e do cultivo, torna-se necessário determinar fatores que possibilitem correlacionar as diferentes formas globais de exposição da água do tanque, da água estomatal, e da percentual cobertura do solo pelas plantas.

Revisão bibliográfica

Estudos sobre a relação $K = ET/E_t$ foram realizados por Wilcox (10), Pruitt (6) e outros. Aslyng (1) observou no decorrer do período de quatro anos íntima correlação entre ETP obtida em lisímetro e a E_t , Fuchs e Stanhill (3) encontraram forte correlação entre a ET de um grande plantio comercial de algodoeiro, sob condições ótimas de irrigação, com a evaporação do tanque Classe-A, situado em áreas não irrigadas. Stanhill (9) analisou um conjunto de trabalhos experimentais executados em Israel, encontrou coeficientes "K" para diversas culturas sob condição de cobertura total do solo. Jensen e Pruitt (6) desenvolveram um quadro prático para estimar a ET através da E_t e do fator "K" obtido experimentalmente. No Havai e no Projeto de Irrigação do Rio Columbia (USA) encontra-se largamente difundido o uso da E_t para controle das irrigações (4).

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado na região semi-árida do Nordeste, situada a 40° 24'W Greenwich e latitude de 9° 26' Sul.

* Eng^o Agr^o, M.S. em Irrigação — Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco — CODEVASF.

** Agronomando da Faculdade de Agronomia do Médio São Francisco — FAMESF — Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco — CODEVASF.

Observou-se as Evapotranspirações da alfafa (*Spenotaphrum secundatum*) e Evaporações de tanques Classe – A sob diferentes condições de exposição.

Os lisímetros foram do tipo Thornthwaite (7), com 5,25 m² de área e 1 metro de profundidade. O lençol freático foi mantido constante a 0,70 metro de superfície do solo. A grama sob um sistema de cortes semanais era conservada na altura de 16 cm. e por meio dos bordos na área de 5,25 m². As paredes do lisímetro permaneciam cobertas pelas plantas da área circundante. A alfafa recebia cortes, mais ou menos aos 30 dias, quando apresentava floração ao redor de 10%. Como a alfafa da bordadura apresentava crescimento idêntico à do lisímetro, considerou-se na determinação da ETP a área de 5,25 m² acrescida da metade da parede do tanque do lisímetro.

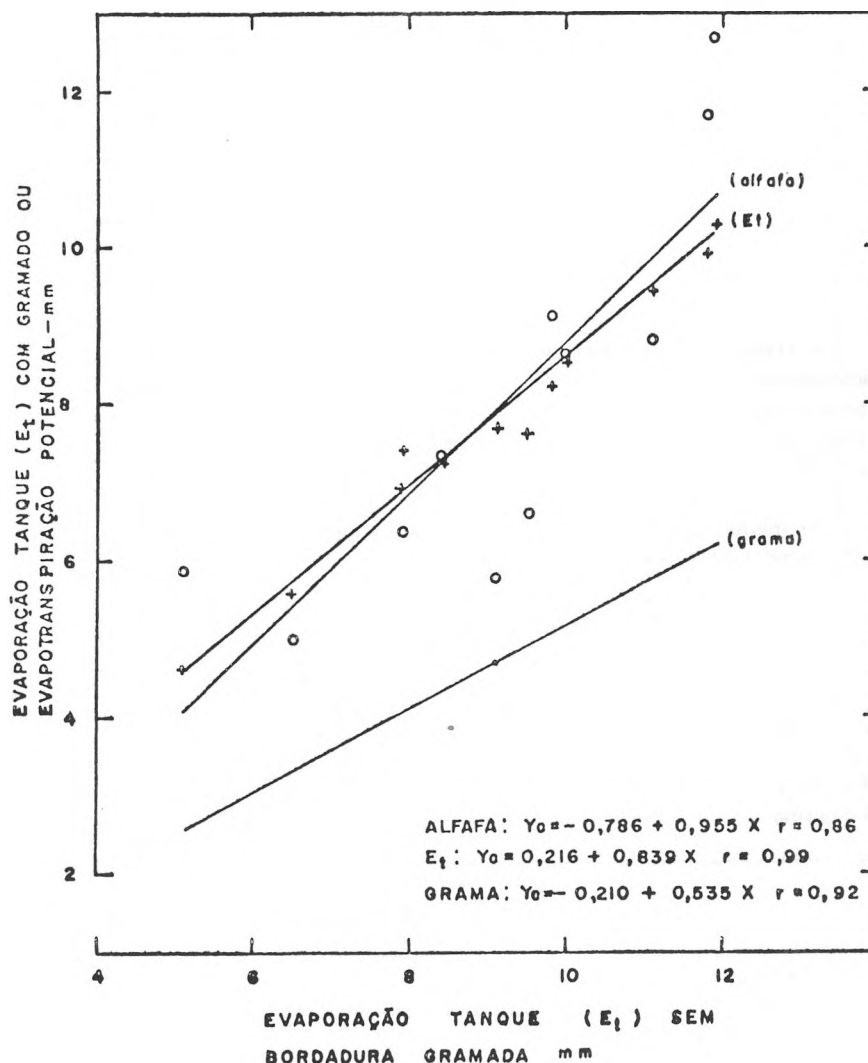
Os tanques evaporimétricos Classe – A com uma faixa de bordadura gramada de 30 m. (E_t c. gramado) e sem bordadura (E_t s. gramado), foram situados em áreas vizinhas, mas sem exercerem influências recíprocas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados mostraram que nos diferentes sistemas evaporimétricos ocorreram diferentes taxas evaporativas apresentando, no entanto, correlações altamente significativas.

A relação média anual entre evaporação do tanque Classe – A com gramado de 30 m. de bordadura (E_t c. gramado) e o tanque sem gramado (E_t s. gramado) foi 0,86. A oscilação esteve de 0,85 a 0,88, correspondentes aos períodos de mais alta e mais baixa demanda evaporativa, característica de junho a julho e de setembro a novembro, respectivamente (fig. 2). Neste último, os sistemas evaporimétricos estiveram sob efeito da energia advectiva proveniente do meio circundante quente e seco.

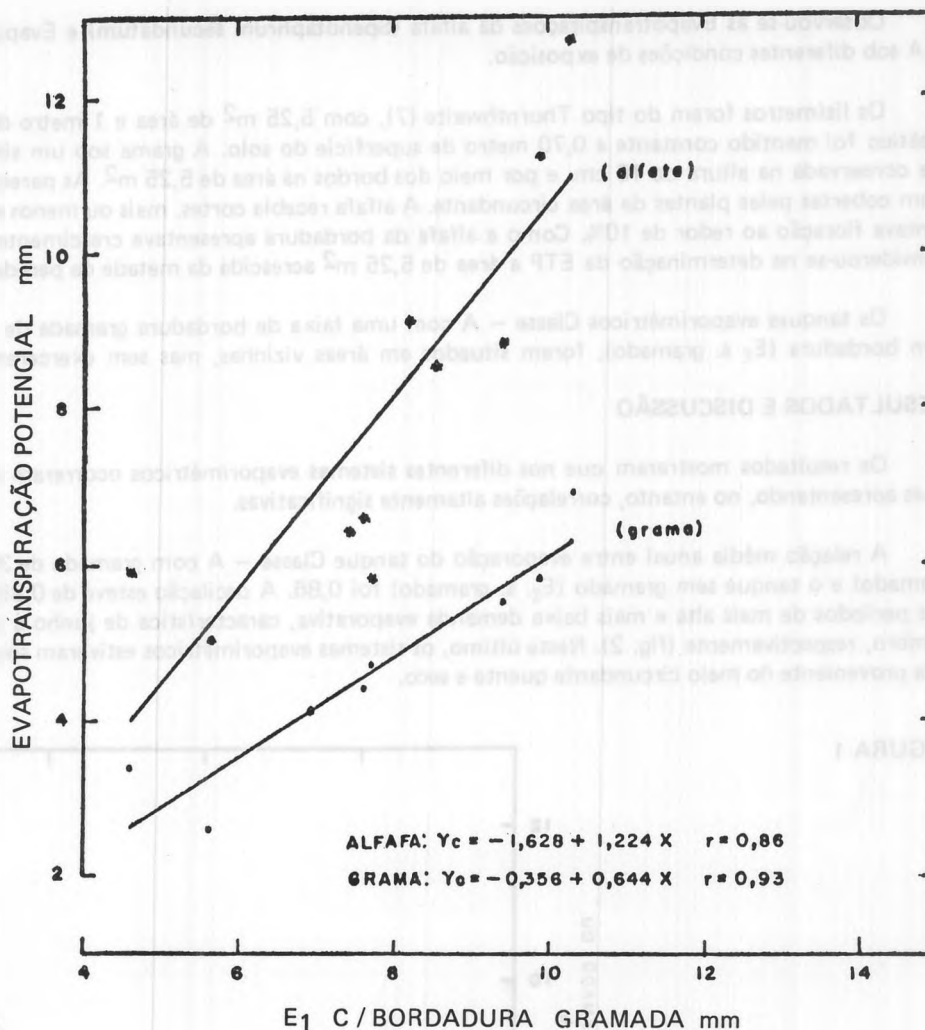
FIGURA 1



A E_{Ta} compreende do corte, até aproximadamente 15 dias após, quando iniciava-se a ETP. Na figura 1 observa-se que a ETP-alfafa é comparativamente semelhante a E_t c. gramado.

A grama do lisímetro apresentou-se durante todo ano sob condição de Potencial (ETP-grama). A relação ETP-grama/E_t c. gramado oscilou de 0,56 a 0,61, que correspondem a menor e maior demanda evaporativa anual, respectivamente (fig. 2). A média foi de 0,58 (fig. 2).

FIGURA 2



A relação média anual entre a ETP-grama/ETP-alfafa foi 0,61, apresentando oscilações entre 0,57 a 0,65 correspondentes aos períodos de maior e menor demanda evaporativa, respectivamente. As diferenças entre o uso d'água da grama e da alfafa eram acompanhadas por diferenças de temperaturas entre ambas. No dia 19/06 às 9 horas foi oportunamente possível determinar por meio de termômetro infra-vermelho as seguintes temperaturas: alfafa 27°C, grama 31°C e céu limpo 10°C.

As médias das máximas e das mínimas perdas de água dos diferentes sistemas estão sucintamente apresentadas no quadro seguinte.

Sistema Evaporimétrico	Média das máximas	Médias das mínimas	Media anual
Evaporação tanque sem bordadura gramada.	11,9	4,6	8,25
Evaporação tanque com bordadura gramada.	10,2	4,6	7,40
ETP-alfafa	10,6	4,1	7,35
ETP-grama	6,2	2,6	4,40

BIBLIOGRAFIA

1. ASLYNG, H.C. 1965 — Evaporation, evapotranspiration and water balance investigations at Copenhagen. 1964-1964. Acta Agricultural Scandinavica. 15: (3-4), 284-300, (8).
2. CHANG, Jen-Hu. 1968 — Climate and Agriculture An Ecological Survey. Aldine Publishing Co./Chicago.
3. FUCHS, M., and G. Stanhill. 1963 — The use of classe A evaporation pan data to estimate irrigation water requirement of the cotton crop. Israel J. Agr. Res: 63-78 (4).
4. HAGAN, Robert M. et al. 1967 — Irrigation of Agriculture Lands. Wisconsin, American Society of Agronomy, section IX, ch. 30.

5. HANSON, C.H. 1972 — Alfafa Science and Technology. Wiscosin, American Society of Agronomy, ch. 21, 22.
6. JENSEN, M.C., J.E. Middleton, and W.O. Pruitt. May 1961. Scheduling irrigation from pan evaporation. Woshington Agr. Exp. Sta. Circ. 386. 14 p. (4)
7. PELTON, W.L. 1961 — The use of lysimetric methods to measure evapotranspiration. Proc. Canadiam Hidrolog. Symposium. March 1-2, Toronto, Canadá.
8. PRUITT, W.O. 1966 — Empirical Method os Estimating Evapotranspiration Using Primarily Evaporation Pan., Proc. American Society of Agronomy, Dec. 66, pp. 57-61.
9. STANHILL, G. 1962 — The control of field irrigation practice from measurements of evaporation. Israel Jour. of Agr. Res. 12: (2) 51-62 (8).
10. WILCOX, J.C. 1963 — Effects of weather on evaporation from Bellani plates and evapotranspiration from lysimeters. Canadian Jour. Plant Sci., 43:1-11 (8).

ESTUDO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO NA CULTURA DO ALGODOEIRO HERBÁCEO

José Furtado da Silva *
Wanderley C. R. Mendes **

1 – INTRODUÇÃO

O meio vital das plantas corresponde a um complexo de fatores, cujo efeito conjunto sobre o desenvolvimento vegetal condiciona a produção. O controle da umidade do solo através da irrigação nas regiões áridas e semi-áridas, assume aspecto importante no crescimento e produção dos vegetais.

DENMEAD e SHAW (2) verificaram que plantas com transpiração potencial a razão de 1,4 mm por dia aproveitava a água disponível até tensões de 12 atmosferas. Porém, as plantas com transpiração potencial de 6 mm/dia, acusava falta d'água quando a tensão da umidade do solo acusava 0,3, atmosfera de tensão da umidade do solo.

Em grumossolos do sub-médio São Francisco ARAGÃO (1) verificou que algodoeiro herbáceo da mesma idade mas que tenham sido plantados em épocas diferentes do ano, apresentaram diferentes intervalos de irrigação. Culturas em plena frutificação, o uso consutivo máximo, média de 8 dias, no decorrer do ano, 8 - 10 mm/dia, deu-se em setembro e outubro, com intervalo de irrigação de 10 dias; o mínimo 4 - 5 mm/dia, média de 12 dias, verificou-se nos meses de junho a julho com intervalos de irrigação de 15 dias.

O propósito do presente trabalho é verificar a maneira mais eficiente e prática de se determinar a quantidade de água disponível que tenha sido consumida pela evapotranspiração no cultivo do algodoeiro herbáceo.

2 – MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no campo experimental do perímetro irrigado de São Gonçalo, Sousa, Paraíba, em solo de aluvião de textura leve sobre textura média, ATL₅, conforme o levantamento de solos feito pela HIDROSERVICE (3). A amostra composta do solo da área experimental apresentou as seguintes características químicas e físicas:

pH	7,0
K ⁺	0,53 e. mg por 100g de solo
C ⁺⁺	5,80 e. mg por 100g de solo
Mg ⁺⁺	2,00 e. mg por 100g de solo
P ₂ O ₅	0,06 %
N	0,09 %
C	0,78 %
Argila	14,00 %
Limo	32,00 %
Areia fina	40,00 %
Areia grossa	14,00 %

Outras características:

Capacidade de campo (Cc) = 26,94 %

Ponto de murchamento permanente (PMP) = 9,08 %

Densidade aparente (Da) = 1,54 g/cm³

A cultura foi conduzida em regime de irrigação pelo método de sulcos de infiltração, com a distribuição da água através de sifões de borracha de 1/2" e vazão de um litro por segundo.

O ensaio foi iniciado em 03.06.74 e terminado em 23.10.74, empregando-se a variedade IAC-13, por ser a mais produtiva nas condições regionais.

Para o controle da umidade do solo utilizou-se o método gravimétrico a 105 - 110°C, até peso constante, para determinação das estimativas da umidade real do solo.

* Engenheiro Agrônomo M. S. — Chefe do Serviço de Experimentação da 3ª Diretoria Regional, DNOCS, Recife, PE.

** Engenheiro Agrônomo — Chefe do Centro Técnico do Perímetro Irrigado de São Gonçalo, Sousa, PB.

O ensaio foi delineado em quadros latinos 5 x 5. A quantidade de água de cada tratamento foi igual ao somatório dos milímetros evaporados no período de 7 dias no tanque Classe A. Os tratamentos usados foram os seguintes:

$$\begin{aligned} L_1 &= 1,00 \times Et^* \\ L_2 &= 0,85 \times Et^* \\ L_3 &= 0,70 \times Et^* \\ L_4 &= 0,55 \times Et^* \\ L_5 &= 0,40 \times Et^* \end{aligned}$$

Et * = total evaporado em mm durante 7 dias.

As parcelas foram constituídas de 4 linhas de 6 m de comprimento, sendo duas linhas centrais de aproveitamento e duas extremas de bordaduras. O espaçamento foi de 1,00 x 0,20 m, sendo que as parcelas apresentaram uma área total de 24 m² e área útil de 12 m².

A adubação química constou da aplicação de sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio nos níveis 80 - 90 - 30 respectivamente.

Os dados referentes a precipitações pluviométricas, evaporação do tanque Classe A e temperaturas médias, de junho a outubro de 1974, no Perímetro São Gonçalo, são apresentados no QUADRO 1.

A curva de tensão de umidade do solo está representada na FIGURA 1 e a representação gráfica das variações de precipitações pluviométricas e evaporação do tanque Classe A, aparece na FIGURA 2.

QUADRO 1 — Precipitações pluviométricas, Evaporação do tanque Classe A e Temperaturas médias em São Gonçalo, junho a agosto de 1974.

Meses	Precipitações (mm)	Evaporação (mm)	Temperaturas médias °C
Junho	14,0	182,8	24,3
Julho	16,6	213,0	23,7
Agosto	0,0	275,8	24,4
Setembro	36,2	276,8	26,5
Outubro	23,4	346,6	27,4

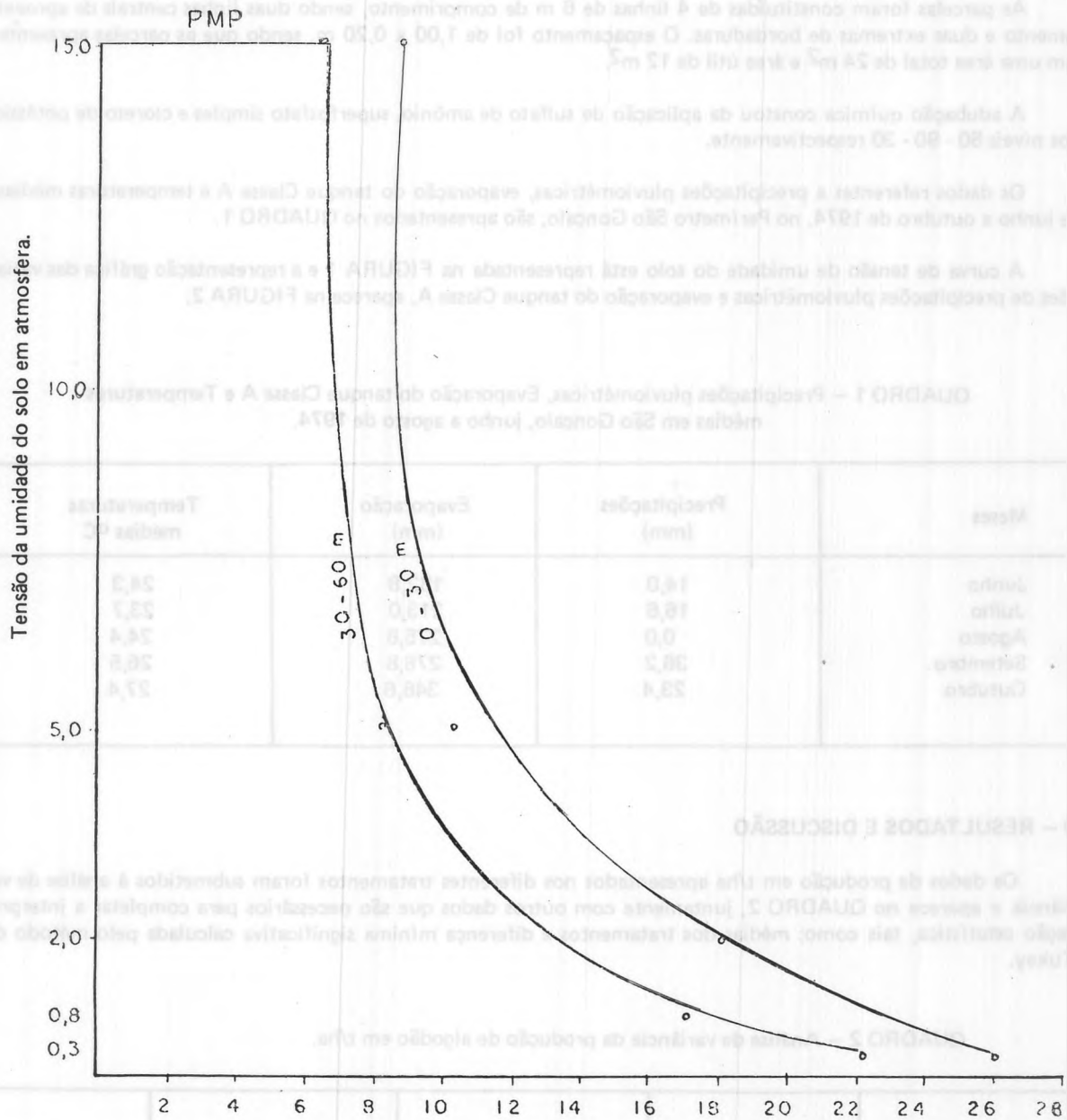
3 — RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de produção em t/ha apresentados nos diferentes tratamentos foram submetidos à análise de variância e aparece no QUADRO 2, juntamente com outros dados que são necessários para completar a interpretação estatística, tais como: médias dos tratamentos e diferença mínima significativa calculada pelo método de Tukey.

QUADRO 2 — Análise de variância da produção de algodão em t/ha.

Causa de variação	G. L.	S.Q.	Q.M.	F.
Linhas	4	0,2646	0,0661	1,3573
Colunas	4	2,0198	0,5049	10,3675
Tratamentos	4	0,9281	0,2320	4,7630*
Resíduos	12	0,5847	0,0487	
Total 24	3,7972			

ALGODÃO



Umidade do solo em % de terra fina seca em estufa.

FIGURA 1 – Curva tensão umidade do solo.

ALGODÃO

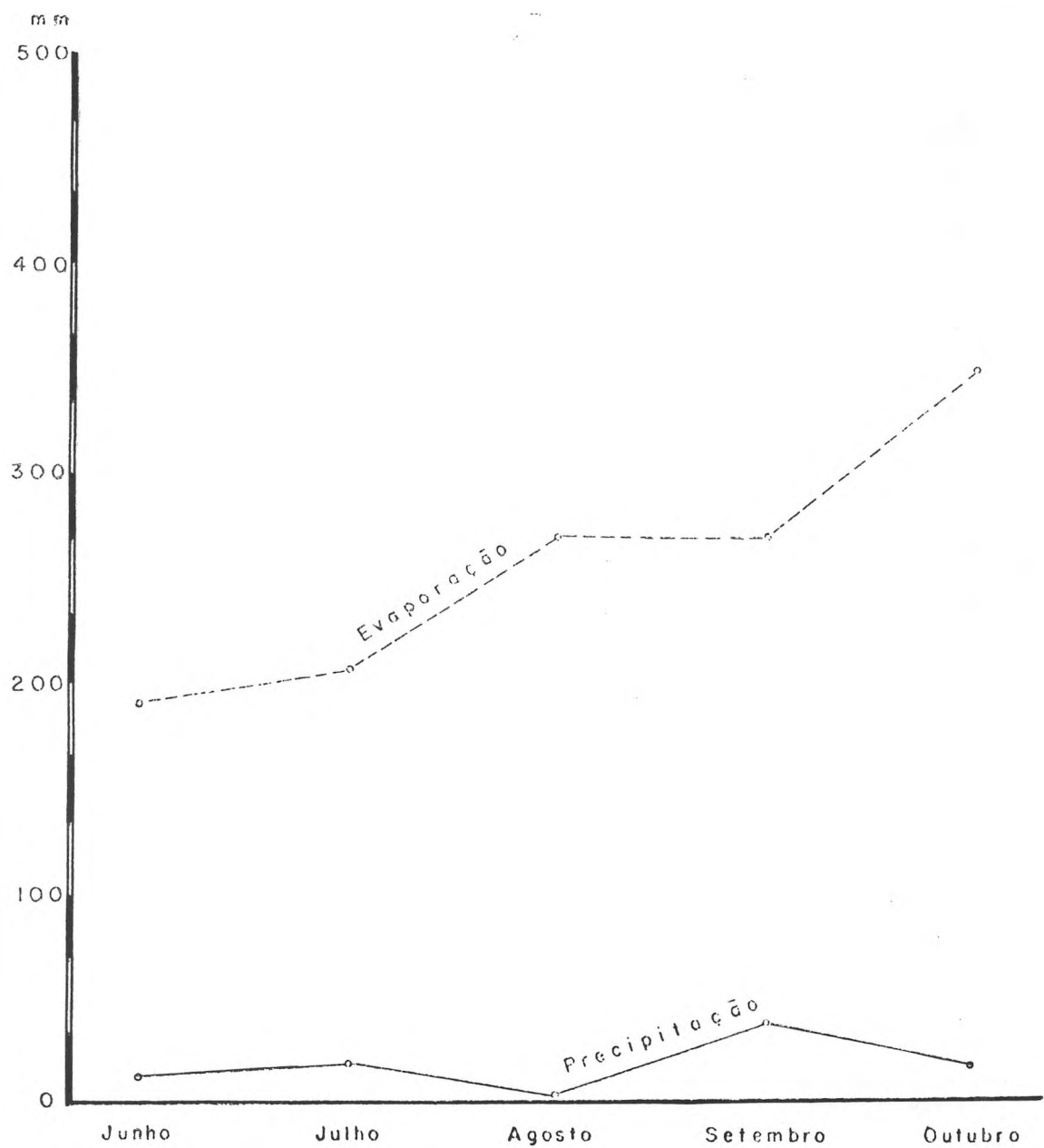


FIGURA 2

Precipitações e evaporações do tanque, classe A, de junho a outubro de 1974, no perímetro SÃO GONÇALO - Pb.

C.V. = 7,30%
 $X = 3,02 \text{ t/ha}$
 $s = 0,22 \text{ t/ha}$
 (*) Significativo ao nível de 5%.

As médias de tratamentos, todas com erro padrão, de 0,09 t/ha, foram:

Tratamentos	Produção t/ha
1,00 x Et*	2,69
0,40 x Et*	2,99
0,55 x Et*	3,05
0,85 x Et*	3,06
0,70 x Et*	3,30

d. m.s. (Tukey) a 5% = 0,44 t/ha

A análise de variância, apresentada no QUADRO 1, indica haver diferenças significativas entre os tratamentos. A comparação de médias feitas, com base no teste Tukey, mostrou que o tratamento 0,70 x Et* superou significativamente o tratamento 1,00 x Et*, sendo iguais aos demais tratamentos investigados.

As lâminas d'água com um intervalo de irrigação de 7 dias para cada tratamento foram as seguintes: 1,00 x Et* = 822 mm; 0,85 x Et* = 699 mm; 0,70 x Et* = 575 mm; 0,55 x Et* = 452 mm; 0,40 x Et* = 330 mm.

A umidade do solo, nas profundidades 0 - 30 e 30 - 60 cm, em todos os tratamentos estudados foi mantida acima de 70 por cento de água disponível no solo.

O tratamento 0,40 x Et*, cuja produção foi de 2,99 t/ha e não diferiu significativamente dos demais, apresentou-se como sendo o mais econômico com relação ao consumo da água pelas plantas. A média de consumo de água no tratamento 0,40 x Et*, com intervalo de irrigação de 7 dias, foi de 110 mm/mês e uma evapotranspiração de 3,3 mm/dia.

Durante todo ciclo da cultura constatou-se a presença constante de tensões da umidade do solo, inferiores a 1 atmosfera, cuja evapotranspiração potencial podemos enquadrá-las na classificação elaborada por DENMEAD e SHAW (2), como intermediárias, onde verificaram que plantas com transpiração potencial a razão de 1,4 mm por dia aproveitava a água disponível até tensões de 12 atmosferas. Plantas com transpiração potencial de 6 mm por dia, acusava falta d'água quando a tensão de umidade do solo se apresentava abaixo de 0,3 atmosfera.

Os tratamentos com evapotranspiração variando de 6 a 8 mm/dia se assemelham com os resultados obtidos por ARAGÃO (1), onde encontrou nas condições do Vale do São Francisco variações de Evapotranspiração de 8 - 10 mm/dia nos meses mais quentes, setembro a outubro e 4 - 5 mm/dia, nos meses mais frio, junho a julho.

4 – CONCLUSÕES

Do exposto, nas condições em que foram realizadas as presentes investigações, pode-se concluir que:

- A produção de algodão em t/ha, não foi afetada nos tratamentos em que a evapotranspiração variou de 3,3 a 6,9 mm/dia com intervalo de irrigação de 7 dias.
- O tratamento 0,40 x Et*, ou seja, aquele em que consumia 60 por cento da água evaporada no tanque Classe A, apresentou-se como sendo o mais econômico com relação ao consumo de água pelas plantas.
- Houve diminuição da produção de algodão em t/ha, nos tratamentos que apresentaram consumo superior a 820 mm no ciclo da cultura e intervalo de irrigação de 7 dias.
- Durante o ciclo vegetativo, constatou-se a presença constante de tensões de umidade do solo, abaixo de 1 atmosfera.

5 – RESUMO

O presente trabalho foi realizado no campo experimental do perímetro irrigado de São Gonçalo, Sousa, Paraíba no período de junho a outubro de 1974, em solo de aluvião de textura leve sobre textura média, que teve como principal objetivo estudar a quantidade de água disponível consumida pela evapotranspiração no cultivo do algodão herbáceo, variedade IAC-13, através do tanque de evaporação Classe A.

O delineamento empregado foi o de quadrados latinos 5 x 5. Os tratamentos testados foram os seguintes: 1,00 x Et*; 0,85 x Et*; 0,70 x Et*; 0,55 x Et* e 0,40 x Et*.

Os resultados mostraram que, nas condições em que foi feito o experimento, a produção de algodão em t/ha, não foi afetada nos tratamentos em que a evapotranspiração variou de 3,3 a 6,9 mm/dia com intervalo de irrigação de 7 dias. O tratamento 0,40 x Et*, ou seja, aquele em que consumia 40 por cento de água evaporada no tanque Classe A, apresentou-se como sendo o mais econômico com relação ao consumo de água pelas plantas.

Durante o ciclo vegetativo, constatou-se a presença constante de tensões de umidade do solo abaixo de 1 atmosfera.

6 – LITERATURA;

1. ARAGÃO, O.P. Pesquisa em algodoeiro herbáceo nos grumossolos irrigados do sub-médio São Francisco. Estação Experimental de Mandacarú, DRN/SUDENE, Juazeiro, Bahia, p. 45. 1971.;
2. DENMEAD, O.J. e SHAW, R.H. Availibity of soil water to plants as affected by moisture content meteorological conditions. Agr. J. 54 (5): 385-390. 1962.;
3. HIDROSERVICE – DNOCS. Projeto detalhado de recuperação hidrológica da bacia de irrigação de São Gonçalo. Levantamento detalhado dos solos. HE 77A - R11 - 270 p. 126. 1970.

ESTUDO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM BANANEIRA, CULTIVAR NANIÇÃO (Musa Cavendishii Lambert)

José Furtado da Silva *
Wanderley C. R. Mendes **
Edivaldo Sobral de Goes ***

1 – INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial e um dos grandes exportadores de banana. Das frutas tropicais, é a banana atualmente considerada a de maior consumo mundial, sendo importante fonte de divisas para muitos países.

O Nordeste brasileiro, principalmente em perímetros irrigados, apresenta condições ideais para a produção de bananas em grande escala, desde que seja aumentado o nível tecnológico da cultura, dentro de práticas agrícolas facilmente assimiláveis pelos produtores e principalmente no que diz respeito ao manejo eficiente da irrigação.

Segundo SHMULI (5) com base em experimento realizado em Israel, concluiu que a taxa de evapotranspiração foi grandemente condicionada à percentagem de água disponível na zona radicular. Foram observadas taxas de evapotranspiração de 6 a 7 mm por hectare quando a percentagem de água disponível, no solo era alta. Quando a percentagem de água disponível estava abaixo de 1/3, a taxa de evapotranspiração era de 2 a 3 mm por hectare. Sob condições de alta percentagem de água disponível, cerca de 80% da perda de água ocorria nos primeiros 45 cm da camada do solo, por evapotranspiração, e cerca de 1/3 nos primeiros 5 cm, em forma de evaporação.

MORELLO (3) em estudos realizados nas condições climáticas de São Paulo, atribuiu à bananeira uma necessidade anual de 6.025 litros por planta. A mesma densidade, isto é, 800 bananeiras por hectare podia encontrar os recursos em água pela única pluviometria. A população de 2.500 plantas por hectare teria que fazer face ao déficit durante vários meses.

Ainda em São Paulo, investigando o comportamento do cultivar nanicao com diferentes níveis de umidade do solo, MAMICA (2) concluiu que o peso do cacho, número de pencas e produção de frutos por hectare, foram maiores nos tratamentos com percentagem de umidade do solo acima de 75 por cento.

Na Colômbia RISHELL (4) recomenda a aplicação de 50 mm de água por hectare, irrigação superficial com uma cota de evapotranspiração de 5,16 mm e intervalo de irrigação de 9,69 dias.

O presente trabalho tem por finalidade verificar a maneira mais eficiente e prática de se determinar a quantidade de água disponível que tenha sido consumida pela evapotranspiração no cultivo da bananeira.

2 – MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no campo experimental do perímetro irrigado de São Gonçalo, Município de Sousa, Estado da Paraíba, em solo de aluvião de textura leve sobre textura média, ATL 5 conforme a HIDRO-SERVICE (1). A amostra composta do solo da área experimental, apresentou as seguintes características químicas e físicas:

pH	7,0
K ⁺	0,53 e. mg por 100g de solo
Ca ⁺⁺	5,80 e. mg por 100g de solo
Mg ⁺⁺	2,00 e. mg por 100g de solo
P ₂ O ₅	0,06%
N	0,09%
C	0,78%
Argila	14,00%
Limo	32,00%
Areia fina	40,00%
Areia grossa	14,00%

Outras características:

Capacidade de campo (Cc) = 26,94%

Ponto de murchamento permanente (PMP) = 9,08%

Densidade aparente (Da) = 1,54 g/cm³

* Engenheiro Agrônomo M.S. — Chefe do Serviço de Experimentação, 3ª DR, DNOCS, Recife, PE.

** Engenheiro Agrônomo — Chefe do Centro Técnico de Experimentação do Perímetro Irrigado do São Gonçalo, Sousa, PB.

*** Engenheiro Agrônomo da SUDENE, Recife, PE.

O ensaio foi iniciado em agosto de 1972 e considerou-se as colheitas até junho de 1974.

A cultura foi conduzida em regime de irrigação pelo método de sulcos de infiltração.

A distribuição da água aos sulcos, foi conduzida através de sifões de borracha de 1 1/2" e vazão de um litro por segundo.

Para o controle da umidade do solo utilizou-se o método gravimétrico a 105 - 110°C, até peso constante, para determinação das estimativas da umidade real do solo.

O ensaio foi delineado em blocos ao acaso, com 4 tratamentos e 5 repetições. A quantidade de água de cada tratamento foi igual ao somatório dos milímetros evaporados no período de 10 dias no tanque Classe A. Os tratamentos usados foram os seguintes:

$$L_1 = 1,00 \times Et^*$$

$$L_2 = 0,85 \times Et^*$$

$$L_3 = 0,70 \times Et^*$$

$$L_4 = 0,55 \times Et^*$$

Et^* = total evaporado em mm por décadas.

Cada parcela constituiu-se de 4 linhas com 8 m de comprimento, sendo duas linhas extremas qualificadas de bordaduras e as 3 centrais de aproveitamento. Assim, com o espaçamento entre linhas foi de 2,0 m a área útil utilizada foi de 36 m² com 9 plantas.

A adubação química constou da aplicação anual de sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio nos níveis de 100 - 80 - 200 respectivamente. Empregou-se a variedade nanição do grupo 'Cavendishii

Dados referentes a precipitações pluviométricas, evaporação do tanque Classe A e temperaturas médias, de julho de 1972 a junho de 1974, no perímetro São Gonçalo, são apresentados no QUADRO 1.

QUADRO 1 — Precipitações pluviométricas, Evaporação do tanque Classe A e Temperaturas médias no perímetro São Gonçalo.

Meses	Precipitações (mm)	Evaporação (mm)	Temperaturas médias °C
1972			
Julho	1.5	146.6	26.4
Agosto	39.8	174.8	27.0
Setembro	0.0	241.1	27.8
Outubro	0.3	245.1	28.9
Novembro	0.0	269.2	29.0
Dezembro	77.8	274.9	28.9
1973			
Janeiro	43.6	194.8	28.1
Fevereiro	142.2	221.8	28.6
Março	98.0	164.0	28.5
Abril	441.3	143.4	26.5
Maio	66.6	179.4	25.8
Junho	80.3	168.7	25.9
Julho	63.7	199.5	25.9
Agosto	6.6	273.4	26.5
Setembro	2.1	318.1	25.4
Outubro	73.3	300.0	28.3
Novembro	9.7	320.0	28.9
Dezembro	16.4	297.1	28.8
1974			
Fevereiro	318.3	154.4	26.0
Março	224.3	124.5	26.6
Abril	479.3	161.2	25.8
Maio	127.5	162.8	25.3
Junho	14.0	178.0	24.3

BANANA

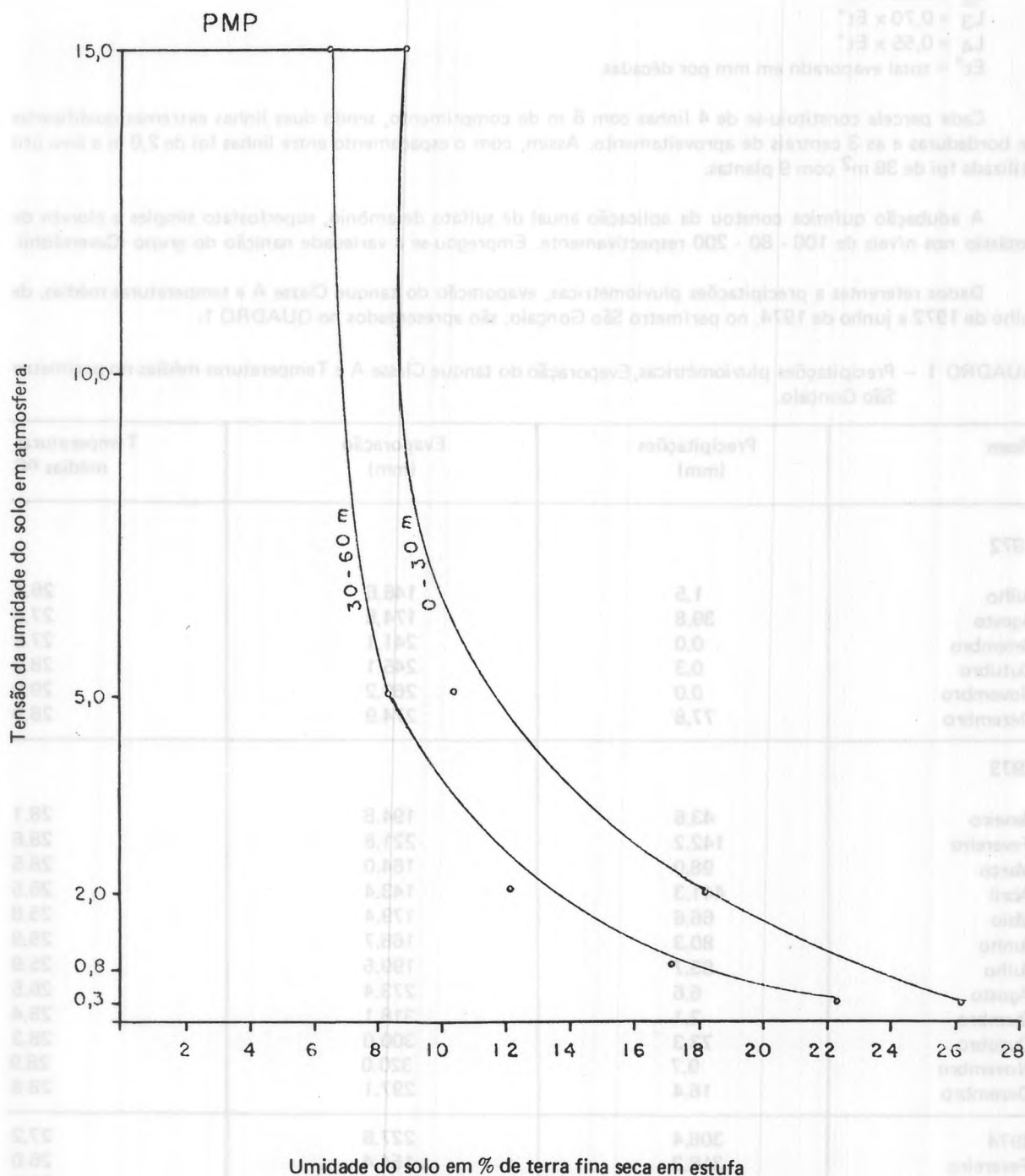


FIGURA 1 – Curva tensão umidade do solo.

A curva característica da água do solo está representada na FIGURA 1, e os seus valores foram obtidos através da membrana de RICHARDS para as pressões de 1 a 15 atmosfera e da placa de pressão para as pressões inferiores a 1 atmosfera.

A representação gráfica das variações de precipitações pluviométricas e evaporação do tanque Classe A, aparece na FIGURA 2.

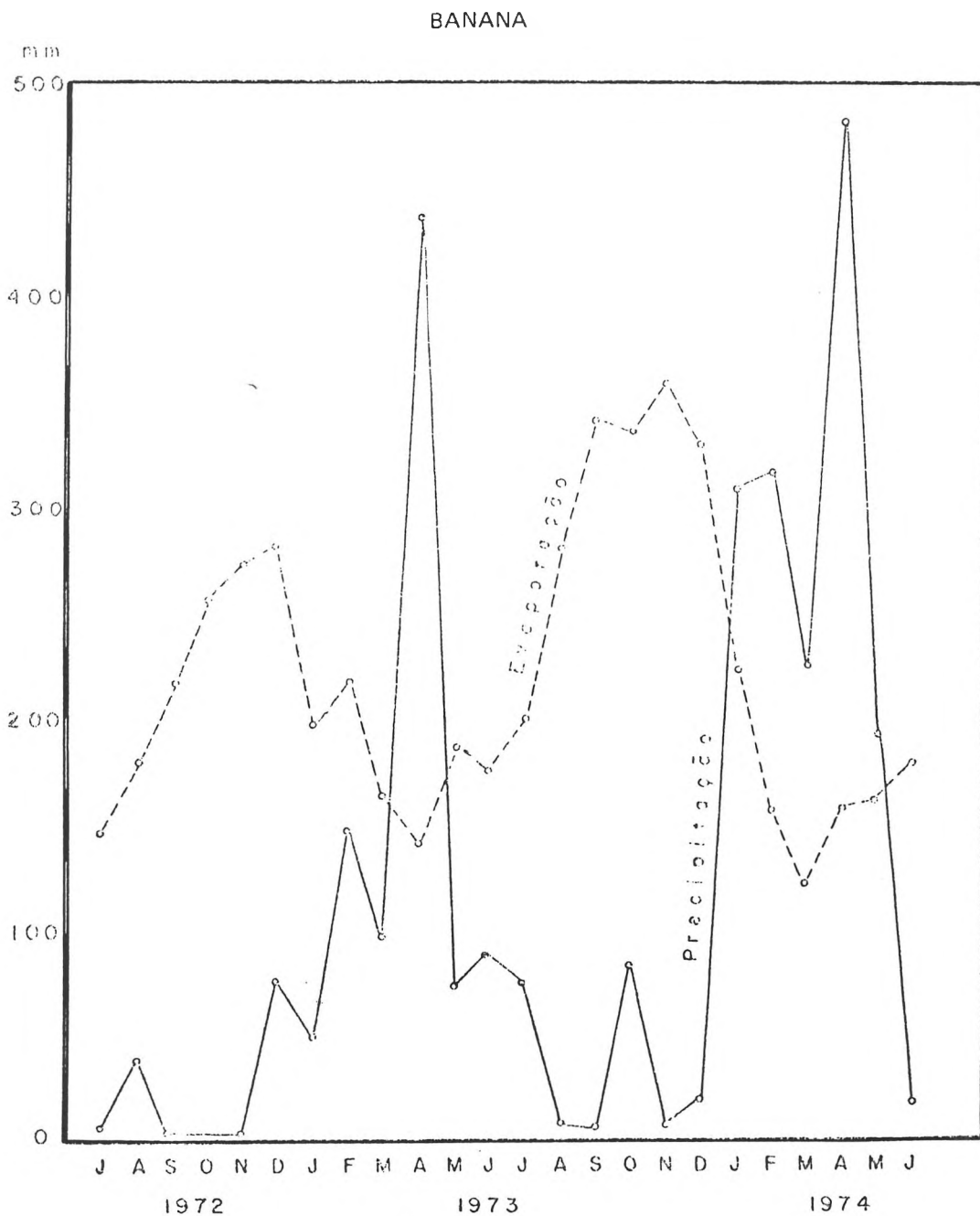


FIGURA 2 — Precipitações e evaporações do tanque, classe A, de julho de 1972 a junho de 1974, no perímetro SÃO GONÇALO — Pb.

3 — RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados referentes a produção de bananas em toneladas por hectare/ano, número de bananas por cacho, peso médio do cacho em quilogramas e milhares de bananas por hectare/ano, foram analisados estatisticamente conforme podemos observar nos QUADROS 2 a 5. Para efeito de análises estatística, considerou-se média de produção de 2 anos de colheita.

QUADRO 2 — Análise de variância da produção de frutos em t/ha/ano.

Causa de variação	G.L.	Q.M.	S.Q.	F.
Blocos	4	1.657,49	414,37	1,01
Tratamentos	3	18,03	6,01	0,01
Resíduo	12	4.748,46	395,70	
Total	19	6.423,98		

C.V. = 26%

X = 76 t/ha

S = 20 t/ha

As médias de tratamentos, todas com erro padrão de 9 t/ha, foram:

Tratamentos	t/ha
0,55 x Et*	77,00
0,70 x Et*	76,00
0,85 x Et*	75,51
1,00 x Et*	74,80

QUADRO 3 — Análise de variância da produção de bananas expressa em milheiros/ha/ano.

Causa de variação	G.L.	Q.M.	S.Q.	F.
Blocos	4	24.918	6.220	0,62
Tratamentos	3	590	196	0,01
Resíduo	12	120.071	10.005	
Total	19	145.579		

C.V. = 22,6%

X = 442 milheiros/ha

S = 100 milheiros/ha

As médias de tratamentos, todas com erro padrão de 45 milheiros/ha, foram:

Tratamentos	milheiros/ha
0,85 x Et*	435
0,70 x Et*	440
1,00 x Et*	444
0,55 x Et*	450

QUADRO 4 — Análise de variância do número de bananas por cacho.

Causa de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Blocos	4	580	145	6,04
Tratamentos	3	154	53	2,20
Resíduo	12	289	24	
Total	19	1.023		

C.V. = 3,6%

X = 136 bananas/cacho

S = 5 bananas/cacho

As médias de tratamentos, todas com erro padrão de 2,2 bananas/cacho, foram:

Tratamentos	nº de bananas/cacho
0,70 x Et*	132
0,85 x Et*	135
0,55 x Et*	138
1,00 x Et*	139

QUADRO 5 — Análise de variância do peso médio do cacho.

Causa de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Blocos	4	75,30	18,84	4,03
Tratamentos	3	0,87	0,29	0,06
Resíduo	12	56,05	4,67	
Total	19	132,31		

C.V. = 3%

X = 23,37 Kg/cacho

S = 2,16 Kg/cacho

As médias de tratamentos, todas com erro padrão de 0,96 Kg/cacho, foram:

Tratamentos	Kg/cacho
0,70 x Et*	23,09
0,85 x Et*	23,35
1,00 x Et*	23,36
0,55 x Et*	23,68

Examinando-se as análises de variância apresentadas nos QUADROS 2 a 5, verifica-se que os tratamentos estudados não diferenciaram entre si nos caracteres estudados, ou seja, produção do frutos em t/ha/ano, milheiros/ha/ano, número médio de bananas por cacho e peso médio do cacho.

Analisando-se o QUADRO 1, nota-se baixa precipitação e alta evaporação nos 6 primeiros meses de plantio da cultura. Neste período a pluviosidade foi de 119,4 mm e a evaporação do tanque Classe A foi de 1.334 mm, com uma média diária de evaporação em torno de 7,33mm. No segundo ano de plantio, a pluviosidade foi de 1.034,8 mm e a evaporação 2.641,6 mm. Os tratamentos se apresentaram com um consumo de água que vem a seguir:

1,00 x Et* = 2.641,6 mm; 0,85 x Et* = 2.245,6 mm; 0,70 x Et* = 1.849,2 mm; 0,55 x Et* = 1.452,8 mm, com uma média diária de 7,23 mm, 6,15 mm, 5,05 mm e 3,98 mm respectivamente.

Para os seis meses finais de colheita a pluviosidade foi de 1.471,8 mm, superando os 1.908,5 mm de evaporação.

A umidade do solo, nas profundidades 0 – 30 e 30 – 60 cm, em todos os tratamentos estudados, apresentou-se com variações de 50 a 60 por cento de água disponível no solo nos meses de maior evaporação e acima de 70% de água disponível no solo, nos meses de maior pluviosidade e menor evaporação.

O tratamento 0,55 x Et*, cuja produção não diferiu significativamente dos demais, apresentou-se como sendo o mais econômico com relação ao consumo de água pelas plantas. A média do consumo d'água no tratamento 0,55 x Et*, com intervalo de irrigação de 10 dias, foi de 1.452 mm/ano, 120 mm/mês e uma evapotranspiração de 4 mm/dia.

.RISHELL (4) e MORELLO (3) encontraram resultados semelhantes, quando constataram que a bananeira necessita para o seu normal desenvolvimento, de aproximadamente 1.500 mm de água por ano, com uma evapotranspiração de 4 a 5 mm/dia e uma frequência de irrigação de 9 a 10 dias.

4 – RESUMO E CONCLUSÕES

No presente trabalho conduzido no perímetro irrigado de São Gonçalo, Souza, Paraíba, procurou-se determinar a quantidade de água disponível que tenha sido consumida pela evapotranspiração no cultivo da bananeira, cultivar nanicão, através do tanque de evaporação Classe A.

O experimento foi instalado em 1972 e concluído em 1974, em solo de aluvião de textura leve sobre textura média.

O delineamento empregado foi o de blocos ao acaso com 5 repetições. Os tratamentos testados foram os seguintes: $1,00 \times Et^*$; $0,85 \times Et^*$; $0,70 \times Et^*$ e $0,55 \times Et^*$.

Foram obtidos e analisados estatisticamente os dados referentes a produção de bananas em t/ha/ano, milhares de bananas por ano, número de bananas por cacho e peso do cacho. Os resultados podem ser resumidos assim:

a) As diferenças de produção em t/ha, milhares de bananas, número de bananas por cacho e peso em Kg do cacho, registradas entre os tratamentos estudados, não foram estatisticamente significativas.

b) O tratamento $0,55 \times Et^*$ ou seja, aquele que consumia 55 por cento da água evaporada, apresentou-se como sendo o melhor, devido a economia de água de irrigação.

c) A umidade do solo, em todos os tratamentos estudados apresentou-se com variações de 50 a 60 por cento de água disponível no solo nos meses de maior evaporação e acima de 70 por cento de água disponível no solo, nos meses de maior pluviosidade e menor evaporação.

5 – BIBLIOGRAFIA

- 1 – HIDROSERVICE-DNOCS. Projeto detalhado de recuperação hidroagrícola da bacia de irrigação de São Gonçalo. Levantamento detalhado dos solos. HE77A - R11-270. p. 126. 1970.
- 2 – MANICA, IVO. Irrigação em sulcos e sua influência no crescimento e produção da planta matriz de bananeira (*Musa Cavendishii* Lambert) C.V. Nanicão. Tese de doutoramento apresentada a E.S.A. "Luiz de Queiroz" da U.S.P. 100p. 1973.
- 3 – MORELLO, J. Transpiration y balance de la bananeira en las condiciones de la ciudad de São Paulo. Bol. Fac. Fil. Ciênc. Letr. Botânica 10:27-97. 1953.
- 4 – RISSHEL, C.G. Água necessária para irrigar um hectare de banana. Agr. Trop. Bogota, sep. Vol 14, nº 9, p. 557-567. 1958.
- 5 – SHMUELI, E. Irrigation Studies in the Jordan Valley. I. Physiological Activity of the banana in Relation to soil Moisture. Bul. of the Res. council of Israel. 3(3): 228-47. 1953.

EFEITOS DE NÍVEIS DE UMIDADE NA PRODUÇÃO DA CEBOLA (*Allium Cepa*, L)

José Ferreira da Costa Filho *
Hugo O. Carvalho **
Francisco O. de Souza ***
Don C. Kidman ****

RESUMO

A cebola (*Allium Cepa*, L) é a segunda hortalíça em área cultivada e a terceira economicamente importante, no Brasil (Couto, 1975). A cebola é particularmente uma cultura de grande importância econômica para a região do Sub-Médio São Francisco, representando aproximadamente 60% da renda de Petrolina, Pe. Considerando que o Vale do São Francisco está localizado dentro de uma zona muito árida, não adequada para uma agricultura de sequeiro, a irrigação é indispensável para a produção de cebola. Conseqüentemente, o êxito na conversão de uma agricultura de sequeiro em uma irrigada depende em sua maior parte de um adequado manejo do solo e da água deste.

O presente trabalho é parte de uma pesquisa integral, que pretende avaliar a produção de cebola sob diferentes níveis de conteúdo de água do solo, fertilização nitrogenada e densidade de plantio. O presente trabalho analisa unicamente a produção da cebola, quando esta é submetida a diferentes conteúdos de água do solo. Análises do efeito das variáveis fertilidades e população sobre a produção da cebola não são apresentadas neste texto.

O ensaio foi conduzido na Estação Experimental do Sub-Médio São Francisco, pertencente a Empresa Brasileira de Pesquisa Agro-Pecuária (EMBRAPA) em Petrolina, Pe. O solo empregado foi um típico aluvião da série Latossólica, com uma profundidade acima de 1,50 m e com um alto teor de areia (FAO/PNUD, 1971).

O espaçamento entre sulcos foi estabelecido em 0,50 m e seus comprimentos foram limitados pelas parcelas experimentais e a textura do solo. A declividade média dos sulcos foi de 0,3%.

A variedade de cebola usada foi a Amarela Chata das Canárias. A cultura foi instalada na sementeira do dia 10 de fevereiro de 1975 e após 35 dias foi transplanada para as parcelas experimentais. A densidade de plantio variou de acordo com os tratamentos da população (33.000, 400.000 e 500.000 plantas/ha). Como o objetivo deste trabalho é unicamente avaliar o efeito de diferentes conteúdos de água do solo sobre a produção de cebola, para se avaliar este, para cada tratamento de água, obteve-se uma média de produção das três populações.

A adubação constou de uma aplicação inicial de 170 kg/ha de P_2O_5 e 20 kg/ha de N_2 em forma de uréia. Posteriormente se aplicaram 4 níveis de fertilização nitrogenada (0,75, 150 e 225 kg/ha) em forma de uréia, correspondendo aos tratamentos de adubação.

Para os objetivos deste trabalho, as produções de cebola sob os 4 níveis de nitrogênio foram uma média para cada nível de irrigação. Assim o efeito do nitrogênio não é considerado.

Todo o controle de irrigação foi feito diariamente pelo método gravimétrico. A primeira irrigação foi geral para toda a área e foi alta para levar o solo à "capacidade de campo". Posteriormente a esta irrigação inicial, quatro regimes de irrigação foram estabelecidos. As parcelas foram irrigadas quando foram consumidas 25, 50, 75 e 100% da água disponível correspondendo tais regimes aos tratamentos I₁, I₂, I₃ e I₄, respectivamente. Assim, depois da irrigação inicial o tratamento I₁ recebeu mais 19 cm de água, o tratamento I₂, 16, o tratamento I₃ 11 e o tratamento I₄ 6 cm de água.

A colheita da cebola foi efetuada de 19 a 21 de junho de 1975. As produções foram 20,0; 12,2; 8,0 e 4,8 ton/ha para os tratamentos I₁, I₂, I₃ e I₄, respectivamente.

O delineamento experimental utilizado para se analisar a informação obtida, foram blocos inteiramente ao acaso com os regimes de irrigação como tratamento. A análise estatística dos resultados obtidos mostrou diferença altamente significativa (ao nível de 1% de probabilidade) entre os tratamentos de irrigação testados. Na comparação individual dos tratamentos, aplicando-se o teste de Tukey, verificou-se que o nível de irrigação I₁ com a maior frequência de irrigação foi o mais satisfatório.

* Eng^o Agrônomo — Professor Assistente do Departamento de Ciências Agro-Zootécnicas. Centro de Ciências e Tecnologia. Universidade Federal da Paraíba — Areia, PB.

** Eng^o Agrônomo — Ph. D. Professor Adjunto do Centro de Ciências e Tecnologia. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB.

*** Eng^o Agrônomo — M.S. Pesquisador do Projeto "Manejo de Água", EMBRAPA — Petrolina, PE.

**** Agrônomo Pesquisador — M. Sc. Convênio UTAH STATE University/EMBRAPA — Petrolina, PE.

Uma correlação entre a variação do conteúdo de água do solo através da estação de crescimento e a produção obtida foi conduzida, verificando-se que, nos tratamentos onde sempre havia maior disponibilidade de água para as plantas, maior foi a produção.

BIBLIOGRAFIA

1. BAMES BERGER, J.G. 1955. Preparing Land for Efficient Irrigation. Yearbook Separate nº 2601. Reprinted from pages 279-285 of the Yearbook of Agriculture.
2. BLANEY, HARRY F. 1955. Water and One Crops. Climate an Index of Irrigation Needs, Yearbook Separate Yearbook from pages 341-345 of the Yearbook of Agriculture.
3. BUCKMAN, HARRY O. e BRADY, NYLE C. 1968. Natureza e Propriedade dos Solos. Rio de Janeiro, São Paulo, 560 p.
4. COUTO, FLAVIO A.A. 1975. Cultura da Cebola. Curso de Assistência Técnica em Agricultura Irrigada. MINTER/SUDENE/IICA/EMBRATER – Petrolina, Pe. 20 p.
5. F.A.O/PNDU. 1971. Estudos de Irrigação e Ingenieria. Estudos de la Cuenca del Rio São Francisco (segunda Etapa). Roma, F.A.O/P.N.D.U. 301 p.
6. HARGREAVES, G.H. 1973. Monthly Precipitation Probabilities for Northeast Brazil. Logan, Utah State University. Contract AID/csd 2167. 423 p.
7. HARGREAVES, G.H. 1974. Moisture Availability and Crop Production. Logan, Utah State University, 46 p.
8. HARGREAVES, G.H. 1974. Climatic Zoning for Agricultural Production in Northeast Brazil. Logan, Uate University 6 p.
9. ISRAELSEN, O.W. y HANSEN, V.E. 1965. Principios y Aplicaciones de Riego. Barcelona – Buenos Aires – México. 395 p.
10. KIDMAN, D.C. Stuler, R.K. and D.W. James. 1974. Ou farm water Management Research in Chile. Efficient use of Soil Moisture and Nitrogen for Increased Crop Production. Logan, Utah State University. 34 p.

DETERMINAÇÃO DO USO CONSUNTIVO DA CEBOLA E TOMATE PELO MÉTODO GRAVIMÉTRICO E EMPÍRICO

Francisco O. de Souza *
Moacir Alves da Silva **
Don C. Kidman ***

RESUMO

Para o planejamento e operação eficiente dos perímetros de irrigação é necessário o conhecimento da informação de evapotranspiração ou uso consuntivo das culturas, para as condições particulares de solo e clima de cada perímetro. Diferentes autores desenvolveram fórmulas empíricas que relacionam os parâmetros climáticos com a evapotranspiração, as quais são comumente usadas no planejamento e operação dos projetos de irrigação do Nordeste, apesar das restrições que existem quanto a sua utilização, em zonas diferentes daquelas onde as mesmas foram desenvolvidas e para as quais não determinara coeficientes de cultivo, "K", ajustados às condições locais.

Se o uso consuntivo é medido por algum método experimental para uma determinada cultura e os parâmetros do clima são registrados durante o desenvolvimento do cultivo os valores de "K" podem ser determinados, para aquele local, através da fórmula:

$$ET_r = K \cdot ET_p$$

onde, ET_r = Evapotranspiração real ou uso consuntivo, ET_p = Evapotranspiração potencial obtida por método empírico, e K = coeficiente de cultivo.

Este fator do cultivo, "K", pode então ser utilizado em regiões próximas ao local do experimento, sendo necessário tão somente, o registro dos parâmetros climatológicos locais, para a aplicação de uma fórmula empírica determinada. Através desta metodologia, pode-se determinar curvas típicas do uso consuntivo das culturas em relação ao tempo, que expressam a variação da capacidade do cultivo para extrair água do solo.

Por outro lado, considerando que a evaporação de uma superfície de água integra os efeitos dos diferentes fatores meteorológicos que influenciam no processo evapotranspiratório, podem-se obter curvas típicas de coeficientes de uso consuntivo, "K", utilizando medidas diretas do uso consuntivo e de tanques de evaporação.

Neste trabalho apresentam-se curvas de coeficientes de uso consuntivo para o tomate e cebola, cultivados na região do Sub-Médio São Francisco, obtidas através da correlação do uso consuntivo, determinado pelo método gravimétrico e, as fórmulas empíricas de Hargreaves, Jensen-Haise e a evaporação do tanque classe "A".

* Engenheiro Agrônomo, M. Sc. em Irrigação, Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-árido — EMBRAPA — Petrolina, PE.

** Engenheiro Agrônomo, Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-árido — EMBRAPA — Petrolina, PE.

*** M. Sc. em Agronomia, Convênio Utah State University/EMBRAPA.

USO CONSUNTIVO DA ÁGUA EM CULTURA DE MILHO, NA BAIXADA FLUMINENSE.

Evandro Ferraz Duarte *

Aluízio Teixeira da Silva **

COMUNICAÇÃO

Determinações do uso consuntivo da água para a cultura em epígrafe estão sendo realizadas, *in situ*, no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), situada em plena Baixada Fluminense, Município de Itaguaí, R.J., com vistas a obtenção de informes mais precisos sobre as reais necessidades de água para irrigação.

Está sendo usada uma seleção de interesse regional (*Zea mays* L. seleção 47) e as medições estão sendo efetivadas durante plantios de verão e de outono-inverno, com auxílio de evapotranspirômetros do tipo Thornthwaite modificado.

As observações realizadas nos dois primeiros anos de investigação (1973 a 1975) revelaram valores de uso consuntivo da ordem de 5,72 e 4,26 mm/dia, em média, para a cultura explorada durante o verão (dez. a março.) e durante o outono-inverno (mai. a out.), respectivamente.

Para as referidas épocas de plantio, os picos de consumo atingiram 14,20 e 10,87 mm/dia, respectivamente, tendo sido registrados, como se esperava, ao longo do período, já sabido, de maior necessidade hídrica da cultura, qual seja da floração ao início da maturação.

* Engenheiro Agrônomo, Ex-Chefe do Serviço de Engenharia e Tecnologia Rurais do Instituto de Pesquisas Agropecuárias do Centro-Sul (IPEACS) e Docente do Departamento de Engenharia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro — (UFRRJ), Km 47 — Rio de Janeiro — ZC-26, RJ.

** Engenheiro Agrônomo, docente do Departamento de Engenharia da UFRRJ, Rio de Janeiro.

IRRIGAÇÃO DA CEBOLA (*Allium cepa*, L.)

José Furtado da Silva *
José Tavares de Araújo **

1 – INTRODUÇÃO

A cebola é uma das espécies olerícolas que se tem distinguido entre as de maior consumo, ocupando o 3º lugar entre as hortaliças de maior importância econômica do Brasil.

O Nordeste brasileiro, em virtude de suas condições climáticas, possibilita a produção da cebola em grande escala. Segundo DIAS e COSTA (3) a região permite a produção de bulbos no período de entressafra do Sul do País, que é o grande mercado consumidor.

Embora seja uma planta bastante estudada, no Nordeste pouco tem sido feito a respeito do uso racional da água nos seus cultivos. As investigações sobre o controle da umidade do solo, nos cultivos, são de grande significação nas áreas onde se pratica a irrigação, de cujo conhecimento dependem o planejamento e a aplicação da água sobre bases favoráveis.

O presente trabalho tem por finalidade verificar o comportamento da cultura da cebola em função da água disponível e estudar o limite de umidade do solo mais favorável à produção.

2 – REVISÃO DA LITERATURA

Absorvendo água do solo, as plantas reduzem a quantidade nele disponível. Pesquisas com diversas culturas, de acordo com BUCKMAN e BRADY (1), mostraram que doses suplementares de água devem ser aplicadas quando a planta atinja um consumo de 50 a 85% de água disponível no solo. Para esses autores, certos fatores vegetativos e climáticos exercem influência marcante sobre a quantidade de água que as plantas podem absorver, com eficiência, de um determinado solo.

KLAR (4) trabalhando com cebola, confirmou que a produção de bulbos, em quilogramas por hectare, mostrou-se mais favorável para as parcelas nas quais se mantiveram os teores de umidade do solo próximos ao da capacidade de campo. Os defeitos ou anomalias não foram afetados pelas variações de umidade do solo, dentro do intervalo de água disponível.

Trabalho de DEMATTÊ e outros (2) realizado em São Paulo, na determinação do consumo de água e da frequência de irrigações para a fase de formação de mudas de cebola, permitiu concluir que, a quantidade de água necessária a elevação do teor de umidade do solo ao nível de capacidade de campo, foi de 11,60 mm considerando-se como crítico o valor de 70% da água disponível e 90% a eficiência do sistema de irrigação empregado. A frequência de irrigação foi de aproximadamente uma vez a cada 3 dias.

SINGH e ALDERFER (5) confirmaram a sensibilidade da planta de cebola e altas tensões de umidade do solo, em qualquer período de crescimento.

3 – MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios em número de dois, foram conduzidos no campo experimental do perímetro irrigado de São Gonçalo, Sousa, Paraíba, em solo de aluvião de textura arenosa (ATA). No local do ensaio este solo se apresentava coberto de oiticicas (*Licania rígida*).

* Engenheiro Agrônomo M.S. — Chefe do Serviço de Experimentação e Desenvolvimento Tecnológico da 3ª Diretoria Regional, DNOCS — Recife-PE.

** Chefe do Serviço de Exploração do Perímetro Irrigação de São Gonçalo — Sousa-PB.

A amostra composta do solo da área experimental apresentou as seguintes características químicas e físicas:

pH	7,0
K ⁺	0,24 e.mg por 100g de solo
Ca ⁺⁺	3,00 e.mg por 100g de solo
Mg ⁺⁺	0,80 e.mg por 100g de solo
H ⁺ + Al ⁺⁺⁺	0,40 e.mg por 100g de solo
P ₂ O ₅ Assimiláveis	3,00 e.mg por 100g de solo
N	0,08%
C	0,66%
Argila	4,40%
Limo	4,60%
Areia fina	44,50%
Areia grossa	46,50%

O peso específico aparente apresentou um valor médio de 1,59 g/cm³ e foi determinado com auxílio de anéis volumétricos padronizados, tendo 50 cm³ de volume interno.

A capacidade de campo (Cc) foi determinada pelo método convencional, diretamente no campo e o seu valor se refere a média das unidades determinadas gravimetricamente durante cinco dias, a profundidades especificadas de 0 – 20 cm a 20 – 40 cm, cuja média é de 9,4 por cento.

O ponto de murchamento (PMP) foi determinado com auxílio da membrana de RICHARDS, onde o solo foi submetido a uma pressão diferencial de 15 atmosferas, e a sua umidade determinada gravimetricamente, resultando um valor médio de 3,4 por cento na profundidade de 0 – 40 cm.

A curva característica da água do solo está representada na FIGURA 1, e os seus valores foram obtidos através da membrana de RICHARDS para as pressões de 1 a 15 atmosferas e da placa de pressão para as pressões inferiores a 1 atmosfera.

O método de irrigação empregado foi o de sulcos de infiltração. Os sulcos apresentaram-se com dimensões médias, de 10 m de comprimento por 0,15 m de largura e 0,10 m de profundidade. A distribuição da água aos sulcos foi conduzida através de sifões de borracha 3/3" e controlou-se a vazão pelo método direto (recipiente de volume conhecido).

Para controle da umidade do solo utilizou-se o método gravimétrico padrão com secagem em estufa a 105 – 110°C, até peso constante, para determinação das estimativas da umidade real do solo. As amostras foram colhidas às profundidades de 0 – 30 cm, com trado comum de amostragem e recipiente de alumínio.

O teor de umidade do solo, dos tratamentos semelhantes, foi o valor utilizado para estimar "quando" irrigar.

O delineamento estatístico adotado foi o de blocos ao acaso com 6 repetições. Os tratamentos usados com variação de umidade do solo nos limites da água disponível, foram os seguintes:

- Tratamento 100 — as parcelas eram mantidas com 100% de água disponível no solo;
- Tratamento 75 — a água era fornecida às parcelas quando o solo apresentava 75% de água disponível, isto é, quando 25% da água disponível era consumida pela cultura.
- Tratamento 50 — quando 50% de água disponível era consumida pela cultura.
- Tratamento 25 — quando 75% da água disponível era consumida pela cultura.
- Tratamento PMP — quando 100% da água disponível era consumida pela cultura.

Para a obtenção dos dados necessários a este trabalho, considerou-se as duas linhas centrais de 10 m de comprimento de cada parcela. Assim como o espaçamento entre linhas foi de 0,30 m, a área útil utilizada corresponde a 6 m².

O ensaio foi instalado em 16 de maio de 1970 e repetido em 25 de maio de 1971.

A variedade utilizada no ensaio de 1970 foi a baía piriforme do Rio Grande do Sul e texas grano 502 em 1971.

A adubação química constou da aplicação de nitrogênio, fósforo e potássio correspondente aos níveis 60 — 60 — 50, para o ensaio de 1971. O ensaio de 1970 não recebeu adubação. Como fonte de N, P₂O₅ e K₂O foram

empregados o sulfato de amônio com 20% de N, superfosfato simples de 20% de P_2O_5 e cloreto de potássio com 60% de K_2O . O fósforo e o potássio foram aplicados no sulco de plantio cinco dias antes do transplante. O nitrogênio foi distribuído em três aplicações de 1/3 do nível, sendo uma aplicação em mistura com o fósforo e o potássio e duas aplicações aos 25 e 50 dias, após o transplante.

Dados referentes a precipitações pluviométricas, evaporação do tanque Classe A e temperaturas médias, de maio a setembro nos anos de 1970 e 1971, no perímetro São Gonçalo, são apresentados no QUADRO 1.

CEBOLA

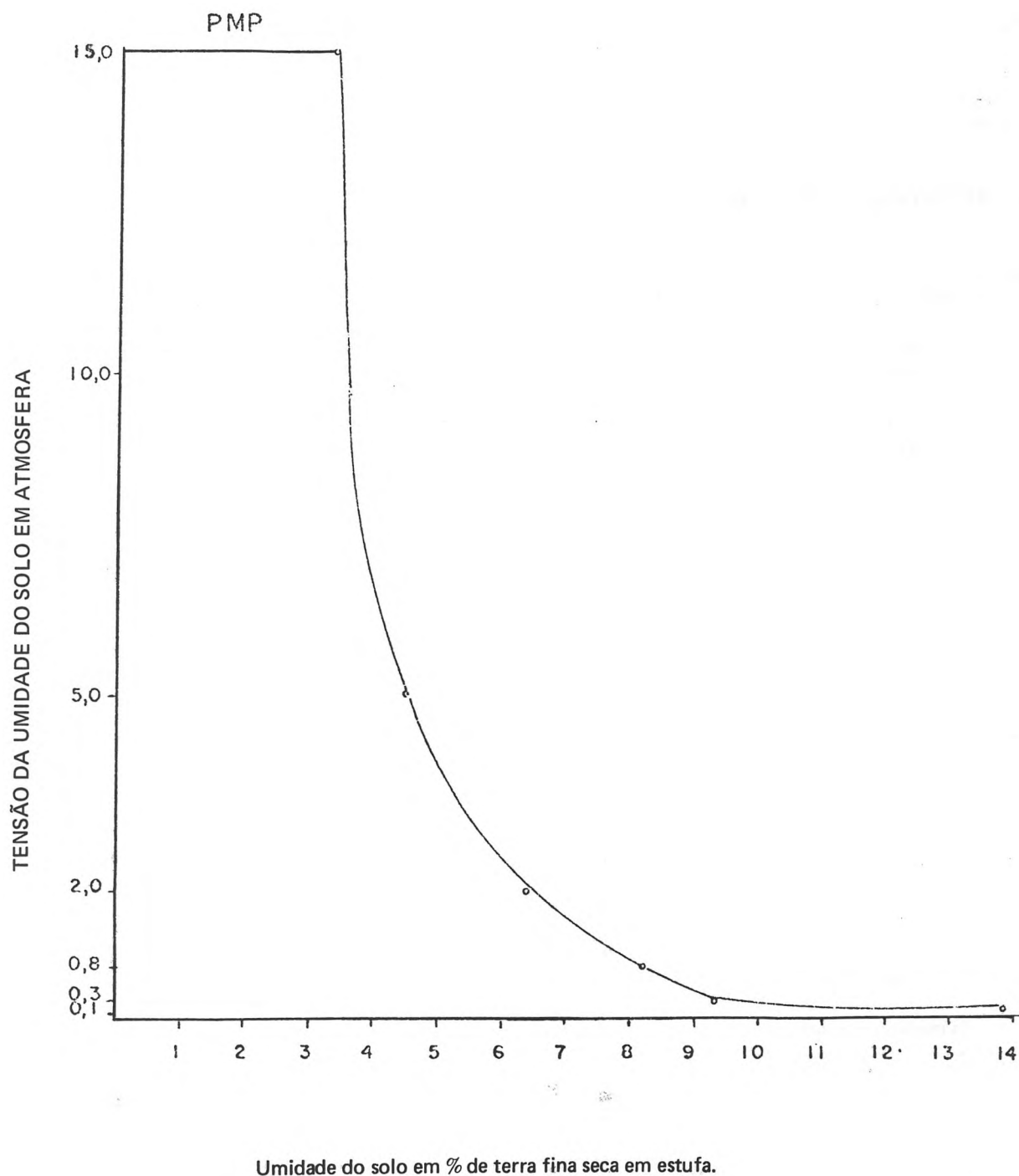


FIGURA 1 — Curva tensão umidade do solo.

QUADRO 1 — Precipitações pluviométricas, Evaporação do tanque Classe A e Temperaturas médias, no perímetro São Gonçalo

Meses	Precipitações (mm)	Evaporação (mm)	Temperaturas médias °C
1970			
Maio	75,5	137.7	26.4
Junho	23,4	152.2	26.6
Julho	1.2	150.6	26.0
Agosto	7.9	205.9	26.9
Setembro	2.5	190.0	27.6
Outubro	24.0	187.0	28.3
1971			
Maio	88,4	59,9	26.2
Junho	214,2	76.7	25.0
Julho	46,8	111.4	25.0
Agosto	1.0	168.2	26.1
Setembro	19.1	180.3	27.6
Outubro	30.4	159.7	27.6

4 — RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados sobre o efeito da umidade do solo na cultura da cebola, aplicando-se doses crescentes de água, são numerosos e envolvem várias características, sendo que neste trabalho só consideramos a produção de bulbos relacionada com as lâminas d'água aplicadas em cada tratamento.

Os bulbos colhidos nos limites já especificados de cada tratamento, foram contados e pesados. Os dados obtidos foram analisados estatisticamente.

Nos QUADROS 2 e 3 são apresentados os dados das análises de variância, as médias dos valores obtidos para os tratamentos, bem como as diferenças mínimas significativas calculadas pelo teste de Tukey que permitem a comparação dessas médias.

Examinando-se a FIGURA 2, onde reunimos os resultados das produções alcançadas nos anos de 1970 e 1971, constata-se que as produções do ensaio de 1971, superam significativamente as produções de 1970, isto se deve ao fato do emprego de adubação química e da mudança de variedade baia piriforme para texas grano 502, que apresenta melhor comportamento de produção em nossas condições.

QUADRO 2 — Análise de variância da produção de bulbos em t/ha — 1970

Causa da variação	G.L.	S.G.	Q.M.	F.
Blocos	5	495,04	99,00	11,35 **
Tratamentos	4	174,75	43,60	5,01 **
Resíduo	20	174,50	8,72	
Total	29	844,29		

C.V. = 19%

$\bar{X}$ = 15,44 t/ha

S = 2,95 t/ha

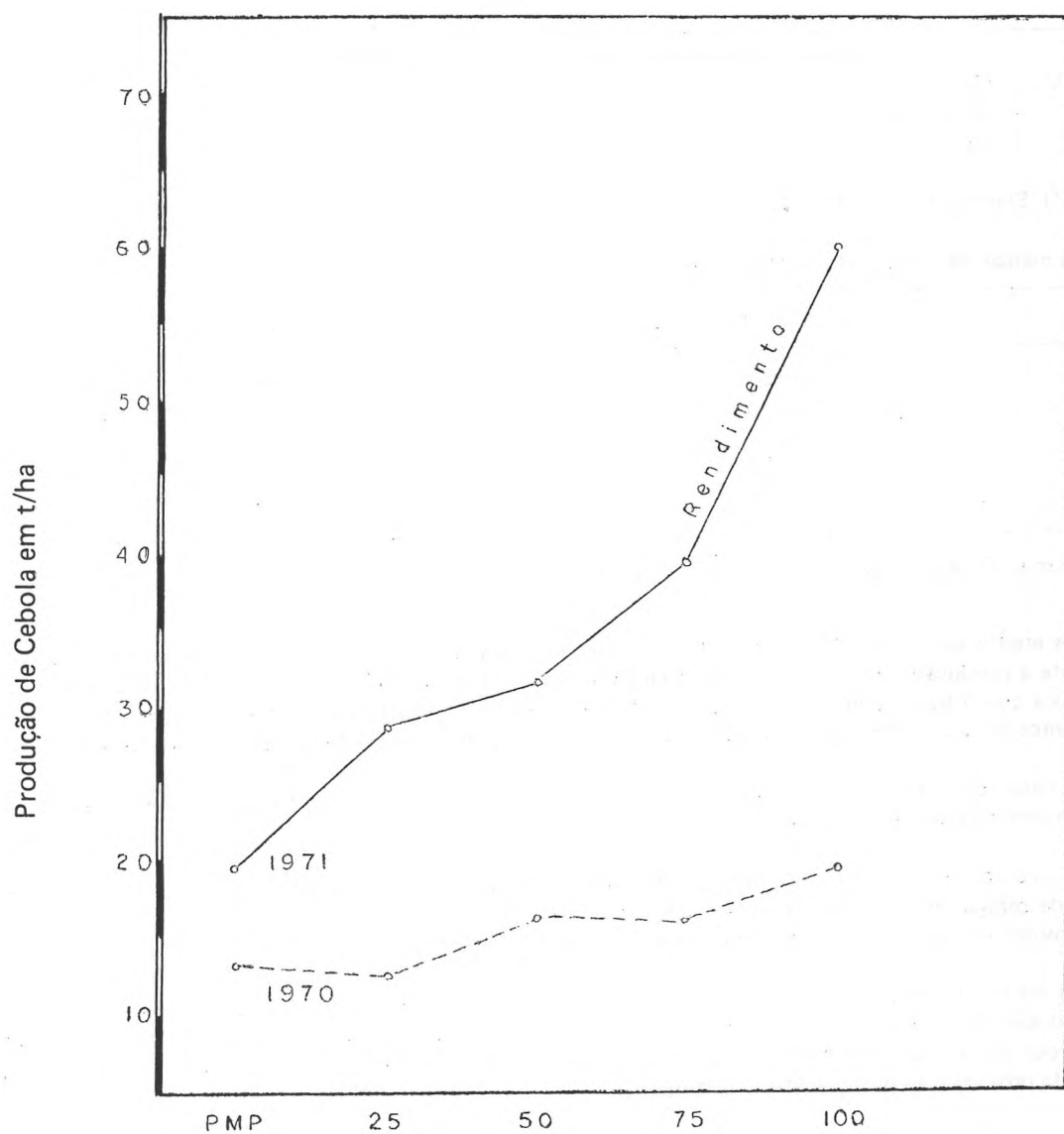
(**) Significativo ao nível de 1%.

As médias de tratamentos, todas com erro padrão de 1,21 t/ha, foram:

Tratamentos	t/ha
100	19,14
50	16,50
75	16,00
PMP	13,00
25	12,54

d.m.s. (Tukey) a 5% = 5,13 t/ha

CEBOLA



PERCENTAGEM DE UMIDADE DO SOLO

FIGURA 2 — Rendimentos alcançados em t/ha nos dois ensaios de irrigação em cebola.

A manutenção do solo, com alto teor de umidade na cultura da cebola mostrou ser benéfico para o aumento do peso em t/ha, conforme a análise de variância do QUADRO 2. Pelo teste de Tukey os tratamentos 100, 75 e 50 são estatisticamente idênticos, enquanto que o tratamento 100 difere significativamente dos tratamentos PMP e 25.

QUADRO 3 – Análise de variância da produção de bulbos em t/ha – 1971

Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Blocos	5	929,97	185,99	12,76 **
Tratamentos	4	5.839,09	1.459,52	100,17 **
Resíduo	20	291,37	14,57	
Total	29	7.059,43		

C.V. = 11%

X = 35,42 t/ha

S = 3,81 t/ha

(**) Significativo ao nível de 1%.

As médias de tratamentos, todas com erro padrão de 1,55 t/ha, foram:

Tratamentos	t/ha
100	600,00
75	39,58
50	30,37
25	28,05
PMP	19,03

d.m.s. (Tukey) a 5% = 6,62 t/ha

Os efeitos dos teores de umidade do solo, acima de 75 por cento de água disponível, aumentaram significativamente a produção de bulbos em t/ha, conforme demonstra o QUADRO 3 da análise de variância. O teste Tukey indica que o tratamento 100 superou significativamente os demais tratamentos, o tratamento 75 superou os tratamentos 50, 25 e PMP, sendo que não houve diferenças significativamente entre os tratamentos 50 e 25.

O balanço, entre a demanda de água da cultura e a capacidade do solo em reter água deverá ser mantido, para o controle eficiente da irrigação.

O solo com que se trabalhou, aluvião de textura arenosa, constitui um tipo ideal para o desenvolvimento da cultura da cebola, embora apresente características físicas que propicia uma velocidade de infiltração, aumentando o consumo d'água e diminuindo a frequência de irrigação.

Os efeitos dos teores de umidade do solo, próximos a capacidade de campo, aumentaram significativamente a produção de bulbos em t/ha. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por LAR (4) confirmando que a produção de bulbos, mostrou mais favorável para as parcelas nas quais se mantiveram os teores de umidade do solo próximos ao da capacidade de campo.

5 – CONCLUSÕES

Nas condições em que foi feito o experimento, podem-se tirar as seguintes conclusões:

1 – As diferenças de produção dos valores condicionados ao peso total de bulbos por hectare, foram altamente significantes, mostrando a influência favorável dos tratamentos mantidos a altos teores de umidade do solo;

2 – A produção de bulbos, em toneladas por hectare, mostrou-se mais favorável para as parcelas nas quais se mantiveram os teores de umidade do solo próximo ou igual a capacidade de campo;

3 – Não surgiram defeitos ou anomalias (Cebolões e perfilhamento) isto é, os bulbos não foram afetados pelas variações de umidade do solo, dentro do intervalo de água disponível;

4 — Houve aumento de produção de bulbos, no experimento de 1971, devido ao emprego de adubação química e da variedade texas grano 502, em substituição a variedade baia piriforme.

6 — RESUMO

No presente trabalho, conduzido no campo experimental do perímetro de irrigação de São Gonçalo, Sousa, PB, procurou-se avaliar a influência da umidade do solo sobre o desenvolvimento e produção na cultura da cebola (*Allium cepa*, L.).

Os ensaios foram instalados nos anos de 1970 e 1971, em solo de aluvião de textura arenosa. No local do ensaio este solo se apresentava anteriormente coberto de oiticica (*Licania rígida*).

O delineamento empregado foi o de blocos ao acaso, com 5 tratamentos e 6 repetições. Os tratamentos se distinguiram pelos níveis mínimos de água disponível as plantas, em 100, 75, 50 e 25 e 0 por cento de umidade.

O sistema de irrigação empregado foi o de sulcos de infiltração. A distribuição da água aos sulcos foi feita através de sifões de borracha de 3/4" e controlou-se a vazão pelo método direto (recipiente de volume conhecido).

A variedade de cebola utilizada no ensaio de 1970 foi a baia piriforme do Rio Grande do Sul e texas grano 502 em 1971.

As diferenças da produção dos valores condicionados ao peso total dos bulbos, foram altamente significativas, mostrando a influência favorável dos tratamentos mantidos a altos teores de umidade do solo.

Houve aumento de produção de bulbos, no experimento de 1971, devido ao emprego de adubação química e da variedade texas grano 502, em substituição a variedade baia piriforme.

7 — LITERATURA CITADA

- 1 — BUCKMAN, H.O. e RADY, N.C. Natureza e Propriedades dos Solos. Rio de Janeiro, USAID, 1967. p. 190-222.
- 2 — DEMATTÊ, J.B.I., CAMPOS, H.R. IGUE, T. e ALVES, S. Irrigação da Cebola (*Allium cepa*, L.). Determinação do consumo de água e da frequência de irrigações para a fase de formação de mudas. Revista de Olericultura, Viçosa, Belo Horizonte, 1970. p. 49-51.
- 3 — DIAS, M., e COSTA, OYROP. Sugestões para um programa de melhoramento de cebola (*Allium cepa*, L.), para a região ceboleira de Pernambuco, 7 p. 1964.
- 4 — KLAR, ANTONIO E. A influência da umidade do solo sobre a cultura da Cebola (*Allium cepa*, L.). Piracicaba, E.S.A. "Luiz de Queiroz". 1967 (mimeografada) 77 p.
- 5 — SINGH, R. e AUDERFER, R.B. Effects of soils moisture at different periods of growth of some vegetable crops. Soil, Sci 1 (1): 69-80. 1966.

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE "K" PARA A CULTURA DA CEBOLA

Zenon Alencar Oliveira *
José Tavares de Araújo **
Wanderley Catuba R. Mendes ***

1 – INTRODUÇÃO

Considerando-se a importância econômica da cultura da cebola *Allium cepa*, L. nos Perímetros Irrigados do DNOCS e ainda o valor da determinação da evapotranspiração real para o dimensionamento dos requerimentos de água pela cultura, elaboramos o presente trabalho com contribuição ao estudo mais detalhado do balanço hídrico desta "LILIACEAE" no Nordeste brasileiro.

Segundo estudos diversos, verifica-se uma correlação entre a evapotranspiração e a evaporação do tanque "A" – USWB, razões pelas quais concluímos por determinar os valores do coeficiente de evapotranspiração – "K", para as condições de nossa Região através desta correlação existente.

Este trabalho baseia-se nos dados de campo do Centro Técnico de Experimentação do Perímetro Irrigado São Gonçalo (PB), no período agosto/dezembro de 1972 e em dados meteorológicos de 36 anos (1939 - 1975).

A determinação da evapotranspiração pelos métodos empíricos apresenta-se como de boa indicação sendo entretanto aceita apenas para lugares que apresentem condições climáticas semelhantes às das regiões para onde foram elaboradas as fórmulas específicas de obtenção deste índice.

Todavia com intuito de comparar os resultados obtidos por métodos experimentais e por fórmulas empíricas, utilizamos o método de Blaney-Criddle que se apresenta como, mais simples para o manejo dos dados. Para melhor correlacionar os dados obtidos pelo método de Blaney-Criddle e os dados experimentais, tornou-se necessário um ajuste do fator "K" às nossas condições climáticas.

2 – DEVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A literatura concernente à determinação da evapotranspiração das culturas e aos métodos de obtenção do coeficiente "K" de uso nas regiões de irrigação artificial é bastante vasta embora aqui queiramos apenas evidenciar alguns tópicos de trabalhos cujos autores desenvolveram estudos com o objetivo de correlacionar a evapotranspiração do tanque evaporimétrico classe "A" – USWB.

LOPEZ e MATHISON (1966), com o objetivo de determinar um fator de proporcionalidade "K" entre a evapotranspiração potencial e a evaporação de tanque classe "A", em estudos feitos nas condições tropicais (Venezuela), acharam um valor médio de $K=0,75$. Citados por A. J. Simões (1973).

W. O. BRUITT (1960), em Davis, Califórnia, encontrou uma relação média $E_{tp}/E_v = 0,92$; sendo que para as condições de baixo médio S. Francisco obteve-se valores que variaram de 0,5 a 0,7, citação de Simões (1973).

ALBERTO DAKER (1970), acredita existir uma acentuada correlação entre o consumo máximo de água pelas plantas em evapotranspiração potencial e a evaporação de uma superfície líquida exposta.

LOPEZ e MATHISON (1966), verificaram para a região tropical que a fórmula de Blaney-Criddle tem apresentado valores superiores a evapotranspiração real em condições de baixas exigências evapotranspiratórias (< 5 mm/dia) e inferiores em altas exigências (> 5 mm/dia). Citado por O. P. Aragão.

ALBERTO DAKER (1970), admite que o coeficiente de correlação E_{tp}/E_v é máxima no final do período de crescimento vegetativo e princípio da floração.

THORNE e PETERSON (1965), consideram que a evapotranspiração é influenciada mais pelos fatores climáticos que pelas características apresentadas pelas variedades de vegetais. Verificaram que a correlação $E_{tp}/E_v = K$ varia de 0,6 a 0,8 e esta correlação é essencialmente a mesma para todos tipos de cultura.

Segundo L. J. EIRE, ORRIN, F. FRENCH e KARL HARRIS (1968), o método experimental para determinação da evapotranspiração real constitui-se um dos procedimentos largamente empregado nos Centros Expe-

* Gerente do Perímetro Irrigado São Gonçalo/DNOCS.

** Chefe do Serviço de Exploração do Perímetro Irrigado São Gonçalo/DNOCS.

*** Chefe do Centro Técnico de Experimentação e Demonstração do Perímetro Irrigado São Gonçalo/DNOCS.

rimentais: Citação MEMORANDUM TÉCNICO Nº 281 — Secretaria de Recursos Hidraulicos do México — (maio — 1970).

3 — MATERIAL E MÉTODOS

O Perímetro Irrigado São Gonçalo está situado no município de Sousa, Paraíba, estando a uma distância de 400 Km do litoral (João Pessoa), tendo por coordenadas geográficas, 6º 45' de latitude sul e 38º 13' de longitude a oeste de GREENWICH.

Apresenta-se com uma altitude média de 233 metros em relação ao nível do mar, dificilmente existindo diferença de nível superior a 20 metros.

O clima de São Gonçalo, segundo a classificação de KOEPPEN, corresponde a Bsh, com a evaporação maior que a precipitação. A temperatura média anual em torno de 27°C. A umidade relativa do ar, média mensal varia de 53 a 73%. A velocidade média dos ventos é de 9 Km/hora.

Em anexo apresentamos um quadro com os dados meteorológicos obtidos pela média de 36 anos (1939 — 1975). Vide anexo.

3.1 — Características do solo da área experimental

O Centro Técnico Experimental do Perímetro Irrigado São Gonçalo/DNOCS, situa-se em áreas com os dois principais tipos de solos do perímetro irrigado: Aluviões Classe A (sem sal) e Classe S₁ (com sal); dispendo-se os solos de Classe A para todos os tipos de cultura, sem restrições e ficando os solos de Classe S₁ restritos aos cultivos resistentes aos sais no solo.

As características pedológicas do solo onde se desenvolveu o ensaio, encontram-se abaixo descritos:

Textura franca

Permeabilidade regular = 10 mm/hora

pH próximo a neutro = 6,5

Baixo teor de Na trocável = 1%

Alta fertilidade: Mat. org. = 1,4%

Fósforo = 25,6 me/100 gr. solo

Potássio = 30,0 me/100 gr. solo

Umidade equivalente = 15,50%

Ponto de murcha Permanente = 6,20%

Densidade aparente = 1,54

Para efeito do cálculo da água consumida pela planta no processo de evapotranspiração foi considerada uma profundidade efetiva das raízes de 30 cm.

A água de irrigação é da classe C₁ S₁ de boa qualidade, proveniente de um sistema de açudes Eng^o Avidos e São Gonçalo.

3.2 — Características da variedade

A variedade escolhida foi Texas Grano — 502 que apresenta boas qualidades de produção, resistência no armazenamento, bom tamanho do bulho e aceitação comercial na região.

Utilizou-se um espaçamento de 30 cm entre linhas e de 10 cm de planta à planta, conferidos para experimentação local. O plantio foi feito por transplante da sementeira para o local definitivo, aos 40 dias após semeadura, ocasião em que se procedeu à seleção das mudas.

3.3 — Métodos de irrigação

Adotou-se o método de irrigação por corrugação e a adução da água de irrigação à cultura se fazia por intermédio de sifões de plástico de 3/4" com vazão conhecida.

As amostras de solo para determinação das umidades atuais eram feitas de 5 — 30 cm de profundidade, antes de cada irrigação e de 5 — 30 cm e 30 — 60 cm, 2 dias após cada irrigação, ficando o solo colocado em estufa a 105°C por 24 horas.

As irrigações eram realizadas a intervalos regulares de 5 dias, tendo sido tal intervalo determinado em outros experimentos anteriores quando se pode constatar melhores produtividades neste intervalo de rega.

Com este "turno" a umidade residual do solo se mantinha à níveis de 60 a 70% de água disponível no solo à cultura. As irrigações na sementeira tinham intervalo entre elas de 2 dias o que proporcionou um desenvolvimento satisfatório das mudas.

Para determinação do fator de evapotranspiração "K" foram correlacionados os dados de evapotranspiração real obtidos em pesquisa experimental com os dados de evaporação do tanque USWB — Classe A, registrados na Estação Meteorológica de São Gonçalo, segundo a fórmula:

$$K = ER \times Ev^{-1}$$

Sendo: ER = Evapotranspiração real (mm)

Ev = Evaporação do tanque (mm)

Para se calcular os usos consuntivos por períodos do ciclo da cultura utilizou-se a fórmula:

$$H \text{ mm} = \frac{(h_1 - h_2)}{100} \times Da \times Pr$$

Sendo: h1 = umidade do solo, dois dias depois da irrigação

h2 = umidade do solo, cinco dias depois da irrigação

Da = densidade aparente

Pr = profundidade das raízes (3 cm)

Para determinação do uso consuntivo pelo método de Blaney-Criddle, usou-se um valor de K = 0,88, determinado para a cultura da cebola verde, de 5 meses do ciclo, em MESA, ARIZONA (1960 — 1962).

4 — DISCUSSÃO

Não foi tida a pretensão de aprofundar a vasta teoria existente sobre a evapotranspiração e determinação do coeficiente "K", de uso corrente num Projeto de Irrigação, mas procurou-se, sobretudo, correlacionar a evapotranspiração real desta cultura baseada em ensaios de irrigação desenvolvidos em nosso Projeto, com a evaporação do tanque classe A para poder-se observar a curva do coeficiente "K" para os diversos períodos de desenvolvimento desta cultura. Pela observação dos dados, constatou-se a correlação entre o uso consuntivo e a evaporação do tanque "A" confirmando a citação de LOPEZ e MATHISON.

Os valores do uso consuntivo calculados pela fórmula de Plancy-Criddle para a cultura da cebola, mostraram-se muito superiores a evapotranspiração real calculada pelo método experimental, conformado o que foi observado por LOPEZ e MATHISON, citado por O. P. Aragão (17).

As necessidades de água para a cebola variaram de um mínimo de 0,87 a um máximo de 6,00 mm/dia e com base nesses dados calculou-se as necessidades de água-líquida e bruta cujos valores são: 476,10 mm e 693,50 mm, respectivamente.

5 — CONCLUSÕES

1 — As exigências máximas em água da cultura de cebola abrangem o período de ciclo compreendido pelo final do estágio de crescimento e maturação dos bulbos.

2 — Há uma proporcionalidade entre a quantidade de água evaporada do tanque classe "A" e a quantidade de água consumida pela cultura da cebola no processo de evapotranspiração.

3 — Ao dividirmos o ciclo da cebola em 3 estágios, conforme quadro 01, encontramos os seguintes valores para "K":

De 0 — 58 dias	K = 0,22
De 58 — 104 dias	K = 0,57
De 104 — 125 dias	K = 0,35

4 — Os valores do uso consuntivo, calculados pela fórmula Plancy-Criddle, para esta cultura, mostraram-se muito superiores aos obtidos pelo método experimental; fato este comprovado nos quadros 01 a 04 e gráfico 02.

5 — Com o objetivo de melhor adaptar a fórmula de Blancy-Criddle às nossas condições climáticas, tentamos ajustar o valor do coeficiente "K", tendo-se então conseguido um valor igual a 0,72. Comparando-se os resultados obtidos por ER (evapotranspiração real) pelo método experimental com os valores obtidos pelo método de Blancy-Criddle, dados ajustados, constatamos que somente ha uma correlação entre as necessidades totais de água, calculados por ambos os métodos, havendo todavia, discrepância para as necessidades hídricas ao longo do ciclo da cultura.

QUADRO 1 – Evapotranspiração Real Diária (ER) e Evaporação do Tanque Classe A (Ev), em milímetros, por Estágio de Desenvolvimento da Cultura da Cebola.

Estágio de Desenvol.	Períodos	Dias	Evapotranspiração		Evaporação		ER Média Diária (mm)	ER / EV (K)
			Total	Diária	Total	Diária		
I	04 - 15/08	12	10,43	0,87	104,30	8,69	1,16	0,13
	16 - 31/08	16	23,12	1,45	154,10	9,63		
	01 - 15/09	15	39,00	2,60	158,32	10,55		
	16 - 30/09	15	57,75	3,85	160,65	10,71	3,23	0,30
		58	130,30		577,37			
II	01 - 15/10	15	78,15	5,21	146,86	9,79	5,78	0,57
	16 - 31/10	16	97,44	6,09	164,17	10,26		
	01 - 15/11	15	90,30	6,02	160,18	10,68		
		46	265,89		471,21			
III	16 - 31/11	15	64,35	4,29	161,38	10,76	3,65	0,35
	01 - 06/12	6	18,00	3,00	62,10	10,35		
		21	82,35		223,48			
		125	478,54		1.272,06			

Período	Evaporação do Tanque "A" (mm)	Fator de Evapotranspiração "K"	Necessidades (mm)	Líquidas (m³/ha)	Necessidades (mm)	Prutas * (m³/ha)
04 - 15/08	104,30	0,13	13,56	135,6	22,60	226,0
16 - 31/08	154,10	0,13	20,03	200,3	33,30	333,0
01 - 15/09	158,32	0,30	47,50	475,0	70,17	701,7
16 - 30/09	160,65	0,30	48,20	482,0	80,33	803,3
01 - 15/10	146,96	0,57	83,71	837,1	130,52	1.305,2
16 - 31/10	164,17	0,57	93,58	935,8	155,97	1.550,7
01 - 15/11	160,18	0,57	91,30	913,0	152,17	1.521,7
16 - 30/11	161,38	0,55	89,48	894,8	94,13	941,3
01 - 06/12	62,10	0,55	21,74	217,4	56,23	362,3
	1.272,06		476,10	4.761,0	605,50	6.055,0

* Foi considerada uma eficiência de 60%.

QUADRO 3 — Valores para o Fator "F" do Blancy y Briddle para as Condições Climáticas de São Gonçalo

Mes	Temperatura	$\frac{T + 17}{21}$	P %	Ucu
Jan.	28,24	2,111	8,35	17,626
Fev.	27,30	2,072	7,11	14,751
Mar.	27,15	2,061	7,33	15,107
Abr.	26,63	2,038	7,58	15,448
Mai.	26,00	2,013	8,20	16,607
Jun.	25,42	1,982	8,00	15,956
Jul.	25,42	1,982	8,57	16,985
Ago.	26,35	2,025	9,21	18,650
Set.	27,38	2,072	8,90	18,627
Out.	27,08	2,100	8,90	18,870
Nov.	28,17	2,108	8,70	18,350
Dez.	28,31	2,115	8,70	18,400

T = Temperatura média mensal em °C.

P = Porcentagem de horas-luz mensal com relação ao total anual

F = Fatores que intervêm na evapotranspiração mensal.

6 — Pelo quadro 02 verifica-se que há uma necessidade líquida total equivalente a 4.761 m³/Ha/ciclo e uma necessidade bruta de 6.935 m³/Ha/ciclo quando o plantio se verificar nos meses de agosto a dezembro, para nossa região; tendo-se considerado para o cálculo da lâmina bruta uma eficiência de irrigação igual a 60%.

7 — AGRADECIMENTOS

Nossos agradecimentos são dirigidos ao Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), pela oportunidade que nos foi concedida, permitindo-nos, participarmos e apresentarmos este trabalho.

Aos colegas de trabalho, Agrônomos do Perímetro Irrigado de São Gonçalo pelo estímulo e revisão do mesmo.

Aos funcionários do Centro Técnico de Experimentação e Demonstração do PISG e da Estação Meteorológica local, pelo pronto atendimento na obtenção de dados que nos serviram de elementos na elaboração do trabalho.

BIBLIOGRAFIA

- 1 – ANAIS do SECOND LATIN AMERICAN IRRIGATION SEMINAR. PANAMA. pp 248-257. February, 1962.
- 2 – ARAGÃO, O.P. Climatologia aplicada à Irrigação. MINTER (GEIDA/SUDENE) OEA (LIGA/CIDIAT) – Apostila.
- 3 – DAKER, A. Água na Agricultura – 3º vol. Irrigação e Drenagem. 3ª Edição. S. Paulo. Liv. Freitas Pastos S/A. 1970 – p. 453.
- 4 – DNOCS. Relatório dos Trabalhos Experimentais desenvolvidos no Centro Técnico de Experimentação e Demonstração do Perímetro Irrigado de São Gonçalo em 1973.
- 5 – DNOCS. Relatório Anual. Pesquisas Agropecuárias 3ª Diretoria Regional. Divisão de Assistência aos Perfímetros. Recife – 1973.
- 6 – DNOCS. Projeto de Irrigação S. Gonçalo (PB). Relatório sobre Estação Experimental e Escola de Irrigantes. HE 77A – R 15 – 870. HIDROSERVICE. São Paulo – 1970.
- 7 – ESPINHOSA VICENTE, E. Los Distritos de Riego, Su Administracion, Operacion y Conservacion. México. D. F. Companhia Editorial Continental S/A. 1964. p. 653.
- 8 – FURTADO DA SILVA, J. Influência da Irrigação no Crescimento e Produção do Tomateiro. Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" de Universidade de S. Paulo, para obtenção do título de "Magister Scientiarum" Piracicaba, S. Paulo – 1972. p. 96.
- 9 – ISRAESEN, O.W. and HANSEN. V.E. Princípios y Aplicaciones del Riego. Traducion, Buenos Ayres. Edif. Revesté, S/A. 1965. p. 397.
- 10 – LUQUE, J.A. y PAOLONI, J.D. Manual de Operacion de Riego Programacion operacion a nível de distrito y parcela. Manejo de áreas bajo riego. 2ª edicion ampliada. Buenos Ayres, Argentina, Ediciones Riagro Distribuidora Editorial Hemisfério Sur S.R.L. p. 330.
- 11 – MALDONADO, A. Método racional para cálculo del uso consuntivo. Sec. de Recursos Hidráulicos, México, D.F. (4 p – Anexos) 1967.
- 12 – MILLAR, A.A. BOERS M. Algumas Culturas Irrigadas por Sulcos em Contorno no Aluvião do Médio São Francisco Publicações Miscelâneas nº 122. IICA. Petrolina – 1974, p. 89.
- 13 – PEREZ, O CASTILLA, determinacion pratica del uso consuntivo. Secretaria de Recursos Hidráulicos. México, D.F., p. 62, 1967.
- 14 – SCARDUA, R. Solo e Irrigação. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de S. Paulo Piracicaba. 1969 (Brochura), p. 138.
- 15 – SECRETARIA DE RECURSOS HIDRÁULICOS DO MÉXICO. Determinacion de las Necesidades de água de las Zonas de Riego por Médio de Datos Climatologicos y Riego Memorandum Tecnico nº 59. México D.F. Nov. 1951.
- 16 – SIMÕES, A.J. Determinação de Evapotranspiração Potencial e Necessidades de Água de Irrigação para o Projeto Piloto Mandacaru. MINTER (GEIDA/SUDENE) OEA LICA/CIDIAT). Petrolina 1973 (mimeografado).
- 17 – THORNE. D.W. and Peterson, H.P. Técnica del Riego. Fertilidade y Explotacion de los Suelos. Traducion de la Segunda Edicion em Ingles. México D.F. Cia. Editorial Continental, S/A. 1965. p. 495.

QUADRO 4 – Uso Consuntivo Mensal Calculado pelo Método de Blaney-Criddle para a Cultura da Cebola.

$$(U = KF)$$

Período	$\frac{T + 17,8}{21,8}$	$\frac{T + 17,8}{21,8}$	$\frac{P}{100}$	f	U	$U \cdot C$ - mm -	$U \cdot C$ Acumulado - mm -	$\frac{K'}{\sum U \cdot C}$	$U \cdot C'$ (mm)	$U \cdot C'$ Acumulado (mm)
04 - 31/08	26,35	2,025	0,21	18,650	0,88	143,10	143,10	0,72	103,00	103,00
01 - 30/09	27,39	2,072	8,00	18,627	0,88	163,00	307,00	0,72	118,00	221,00
01 - 31/10	27,02	2,100	8,00	18,270	0,88	166,10	473,10	0,72	110,60	340,60
01 - 30/11	28,17	2,108	8,70	18,550	0,88	161,40	634,50	0,72	116,20	456,80
01 - 06/12	28,31	2,115	8,70	18,400	0,88	31,50	665,80	0,72	22,50	479,30
				92,805		665,80			479,30	

K = Coeficiente Global Selecionado

K' = Coeficiente Global Ajustado

U.C' = Uso Consuntivo Ajustado

T = Temperatura média mensal em °C

P = Percentagem de horas-luz mensal com relação ao total anual

f = Fatores que intervêm na evapotranspiração.

DADOS CLIMÁTICOS DO PERÍMETRO IRRIGADO DE SÃO GONÇALO

– MÉDIAS DE 36 ANOS –

MESES	TEMPERATURA °C	UMIDADE RELATIVA %	LUMINOSIDADE %	VELOCIDADE DO VENTO KM/h	EVAPORAÇÃO DO TANQUE "A" mm
Janeiro	28,24	60,82	8,35	8,53	218,69
Fevereiro	27,39	66,63	7,11	7,63	177,46
Março	27,13	73,81	7,33	6,77	149,84
Abril	26,63	72,62	7,58	7,34	165,37
Maio	26,09	79,68	8,29	7,60	168,93
Junho	25,42	66,54	8,00	9,00	180,63
Julho	25,42	60,79	8,57	10,00	197,58
Agosto	26,35	55,54	9,21	10,76	275,39
Setembro	27,38	54,67	8,99	11,30	296,28
Outubro	27,98	53,37	8,99	11,09	300,86
Novembro	28,17	55,37	8,70	10,33	282,78
Dezembro	28,31	55,82	8,70	9,50	287,50

* Médias de 3 anos.

NECESSIDADES HÍDRICAS DA CULTURA DA BERINJELA (*Solanum melongena*, L.)

Dirceu Brasil Vieira *

1 – INTRODUÇÃO

A berinjela é uma das olericulturas mais importantes e apreciadas em virtude de suas qualidades organolépticas e a grande gama de pratos que proporciona. Em São Paulo ao redor do cinturão verde da capital e das grandes cidades, a cultura da berinjela é bastante desenvolvida, representando fonte de renda de muitos horticultores. Seu cultivo se desenvolveu muito, pois propicia bons rendimentos culturais e econômicos.

A cultura da berinjela é porém, bastante exigente em água, por essa razão as irrigações são necessárias BERNARDI (1), sem o que não se consegue boa produção, pois a deficiência de umidade no solo limita grandemente a produção. Em São Paulo, embora os totais anuais de precipitação sejam suficientes, pois oscilam entre 1000 a 1200 milímetros, a sua distribuição não é uniforme. Sendo necessária a irrigação para garantir teor de umidade no solo suficiente para manter o bom desenvolvimento da berinjela.

A irrigação da berinjela normalmente é feita por sulcos de infiltração. Embora as culturas sejam irrigadas, os agricultores não procedem as aplicações de água adequadamente, sendo a maioria das instalações empíricas. Por outro lado o agricultor mesmo que queira não dispõe de dados experimentais sobre as necessidades hídricas da cultura.

No presente trabalho o autor relata os resultados obtidos com uma pesquisa de campo em que utiliza a irrigação por sulcos de infiltração em três níveis. A variedade utilizada é a híbrida F-2, que é uma das mais utilizadas pelos agricultores paulistas.

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As citações bibliográficas sobre a irrigação da berinjela não são abundantes, CAMARGO (3) afirma que as irrigações devem ser semanais, desde que necessárias, já BERNARDI (2) acentua que a irrigação artificial da berinjela é indispensável, pois ela representa grande auxílio principalmente nos anos em que as chuvas são escassas ou mal distribuídas. Afirma ainda que as irrigações devem ser por sulcos de infiltração e executadas uma ou duas vezes por semana, mantendo assim uniformes os teores de umidade do solo, propiciando melhor desenvolvimento das plantas. VIEIRA (4) realizando um trabalho comparativo entre os métodos de irrigação por sulcos de infiltração e gotejamento, afirma que o consumo médio dessa cultura foi de 5,6 mm diários e o intervalo de rega foi de 4 dias. Nesse trabalho o autor fixou a reserva de água do solo em 75% da água disponível e utilizou a variedade de berinjela IAC-3015 Santa Genebra.

3 – MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 – Materiais

O presente trabalho foi desenvolvido no campo experimental da área de Hidrologia e Recursos Hídricos do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Faculdade de Engenharia de Limeira – UNICAMP localizada no "Campus" da Faculdade, no município de Limeira, bairro Jardim Nova Itália.

3.1.1 – Solo

O solo da região pertence ao grande grupo Latossolo Vermelho Amarelo-orto. Com o auxílio da placa porosa e do extrator de membrana, obteve-se as relações entre a tensão matricial em atmosferas e o teor de umidade no solo. No quadro 1 estão expostas as relações entre o teor de umidade em porcentagem em relação ao peso seco com o potencial de retenção de água no solo em atmosfera.

Quadro 1 – Dados de umidade do solo (%) submetido a diferentes tensões.

PROF. cm	TENSÃO MATRICIAL EM ATMOSFERAS						
	0,33	0,50	8,0	1,0	3,0	6,0	15,0
0-30	27,5	25,0	22,9	22,9	21,1	19,8	18,9

* Engenheiro Agrônomo – Professor Assistente Doutor do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Faculdade de Engenharia de Limeira – UNICAMP.

Com os dados do quadro 1 foi traçada a curva característica da umidade do solo, que está na figura 1.

Dessa curva foi retirado a capacidade de campo e percentagem de murchamento permanente que estão no Quadro 2. O peso específico aparente que consta também do referido quadro, foi obtido no campo pelos métodos rotineiros.

Quadro 2 – Dados básicos de água disponível

PROF. cm	CC %	PMP %	γ_s g/cm ³
0-30	27,6	18,9	1,47

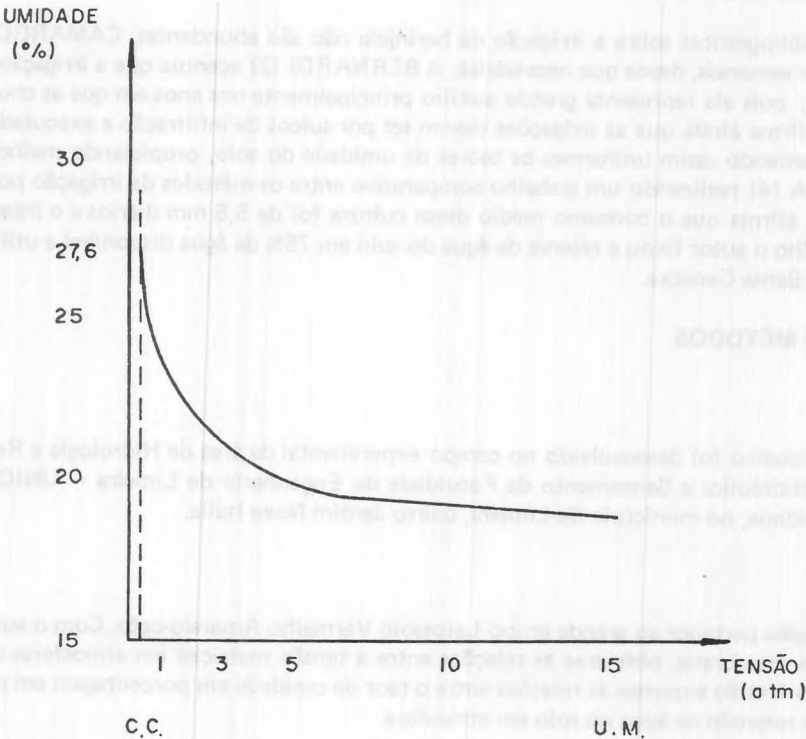
3.2 – Métodos

3.2.1 – Tratamentos

Baseando-se na curva característica do solo estabeleceu-se três tratamentos de irrigação:

Tratamento A: as irrigações foram feitas sempre que o teor de umidade do solo correspondesse a umidade retida a uma tensão de 15 atmosferas. Isto corresponde a percentagem de umidade permanente, portanto a planta consumiu toda a água disponível entre uma irrigação e a seguinte.

FIG. 1 – CURVA CARACTERÍSTICA DE
UMIDADE DO SOLO—PROF. 0,30 cm



C.C. CAPACIDADE DE CAMPO
P.M.P UMIDADE DE MURCHAMENTO

Tratamento B: as irrigações foram feitas sempre que o teor de umidade do solo correspondesse a umidade retida a uma tensão de 3 atmosferas. Isto corresponde a um teor de umidade no solo de 20,5%.

Tratamento C: as irrigações foram feitas sempre que o teor de umidade do solo correspondesse a umidade retida a uma tensão de 1 atmosfera. Isto corresponde a um teor de umidade no solo de 5,6%.

Tais tratamentos foram estabelecidos em função da configuração geral da curva característica.

3.2.2 – Cálculo da Água Disponível

O cálculo da altura de água disponível no solo foi feita com a seguinte fórmula:

$$AD = \frac{(CC - PMP)}{10} \times ds \times h$$

sendo:

AD = altura de água disponível no solo em milímetros;

CC = teor de umidade do solo suposto na capacidade de campo em porcentagem;

PMP = teor de umidade do solo suposto na porcentagem de murchamento permanente em porcentagem;

ds = peso específico aparente do solo em g/cm³;

h = profundidade em que se pretende irrigar em centímetros.

Para o caso do trabalho

$$AD = \frac{(27,6 - 19,9)}{10} \times 1,47 \times 30 = 38,4 \text{ mm}$$

O controle do ensaio foi feito com o gráfico da figura 2, no qual computou-se o teor atual de umidade no solo.

3.2.3 – Teor Atual de Umidade

A avaliação do teor atual de umidade no solo foi feita pelo método gravimétrico. As amostras eram retiradas periodicamente e levadas a estufa.

3.2.4 – Cultura

A semeadura foi feita em copinhos de papel em 20 de Dezembro de 1973 e o transplante em 06 de Fevereiro de 1974. Todos os tratos culturais foram feitos segundo as recomendações de BERNARDI (2). O espaçamento utilizado foi de 1,5 metro entre linhas e 1,00 entre plantas.

3.2.5 – Método de Irrigação

O método utilizado para a irrigação dos tratamentos foi o de sulcos de infiltração. Os sulcos foram construídos em nível e tinham cerca de 7 m de comprimento. Os sulcos receberam por irrigação respectivamente 405, 330 e 206 litros de água nos tratamentos A, B e C.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao término do experimento ora relatado verificou-se produção melhor para as plantas do tratamento C como demonstram os resultados do quadro 3.

Quadro 3 – Produção média dos tratamentos

TRATAMENTO	PRODUÇÃO ton/ha
A	22,4
B	27,8
C	42,7

Pelos resultados nota-se que a produção foi melhor no tratamento C, isto é, aquele em que a reserva de água no solo foi maior.

Com o auxílio do gráfico da figura 2 onde se computou a precipitação ocorrida no período anotada no quadro 4. Determinou-se o consumo médio de água pelas plantas e o intervalo entre irrigações nos diferentes tratamentos.

Quadro 4 — Precipitação pluviométrica ocorrida no local da experiência

DATA	PRECIPITAÇÃO (mm)	DATA	PRECIPITAÇÃO (mm)
5.03	2,2	1.04	6,0
9.03	5,2	2.04	24,0
10.03	8,3	3.04	4,3
11.03	38,7	4.04	39,3
13.03	70,0	6.04	8,0
14.04	7,0	12.04	6,7
17.03	64,0	13.05	4,5
18.03	12,5	11.06	11,0
19.03	39,0	12.06	67,5
20.03	42,0	15.06	5,5
24.03	79,0	22.06	9,5
25.04	19,0	24.06	6,5
		25.06	11,8
		26.06	46,0

Quadro 5 — Dados de consumo de água e intervalo entre irrigações.

TRATAMENTO	CONSUMO DE ÁGUA (mm/dia)	INTERVALO DE IRRIGAÇÃO (dias)
A	4,5	7,0
B	4,5	7,0
C	4,2	6,0

Os resultados obtidos de consumo de água e intervalo entre as irrigações obtidos neste experimento não são concordantes com os citados anteriormente por VIEIRA (4). Contudo tal diferença ao que parece deu-se pela utilização de variedade diferente de berinjela. A variação do consumo de água pelas plantas entre os tratamentos foi muito pequena e não apresentou o resultado esperado. Uma repetição da experiência talvez possa dar uma explicação melhor para o fenômeno.

5 — CONCLUSÃO

Pelos resultados obtidos e nas condições do experimento chegou-se as seguintes conclusões:

- 1 — O consumo de água e o intervalo entre as irrigações não sofrem grande variação entre os tratamentos;
- 2 — As plantas do tratamento C apresentaram melhor produção, quase o dobro dos demais tratamentos;
- 3 — A planta da variedade Híbrida F-2 necessitam em média pouco mais de 4 milímetros de água por dia a um intervalo de rega de 6 dias.

6 — REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 — BERNARDI; J.B. Instruções para a cultura da berinjela. Campinas. Instituto Agrônomo, 1965. 7 fls. (Mimeografado).
- 2 — Cultura da Berinjela. O Agrônomo. Instituto Agrônomo de Campinas, São Paulo. 19 (11 e 12): 11-30. 1967.
- 3 — CAMARGO; A.P. Instruções agrícolas para o Estado de São Paulo. Instituto Agrônomo, Campinas, SP. 1967. 40 p.
- 4 — VIEIRA; D.B. Estudo da irrigação por gotejamento na cultura da berinjela (*Solanum melongena*, L.). Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Limeira — UNICAMP para a obtenção do título de Doutor em Ciências. Limeira — SP — 1973.

TOXIDEZ DO BAYLUSCIDA PARA PEIXES E MOLUSCOS DE ÁGUA DOCE

Hélio Augusto Rezende de Melo *

José Jarbas Studart Guerrel *

INTRODUÇÃO

Desde 1958 o Bayluscida 3/ vem sendo largamente usado no controle do caramujo de água doce, vetor dos parasitas trematódeos *Schistosoma mansoni*, *S. haematobium* e *S. japonicum*, causadores da esquistossomose, doença endêmica que ocorre em regiões da África, da América do Sul e do Oriente Médio (Gonnert, 1962). Também tem sido empregado na França, no combate ao mexilhão, *Dreissena polymorpha*, hospedeiro intermediário do trematódeo *Bucephalus polymorphus*, que ataca peixes de água doce (Hoestlandt, 1972).

O uso desse produto tem sido feito sob diferentes formas, como em pó molhável a 70 por cento, em Porto Rico, e granular a 5 por cento, em Michigan e Wisconsin, no combate ao caramujo de água doce, hospedeiro intermediário de um trematódeo causador de uma irritação epidérmica em nadadores (Newton e Fetterolf, 1967).

Em testes de campo tem sido usado na captura de peixes (Chemagro Corp. 1970, Jacob 1966 e Brunildson, 1970), porém, seu mais importante emprego tem sido no combate à lampreia do mar, *Petromyzon marinus*, nos Grandes Lagos, para a restauração da pesca comercial e esportiva, que foi afetada após a introdução dessa espécie naquelas coleções d'água (Smith, 1967, Smith e King, 1970, Smith e Braem, 1972 e 1973).

Trata-se, assim, de um produto bastante tóxico, não só para caramujos como para peixes (Lennon et al, 1970).

Bioensaios de laboratório mostraram ser o Bayluscida altamente tóxico para 17 espécies de peixes, com DL 50, em 24 horas, variando de 0,043 a 0,279 mg/l, para o "flathead catfish" e "goldfish" respectivamente (Marking e Hogan, 1967).

Na concentração de 1,0 mg/l, em pó molhável a 70 por cento, o Bayluscida teve um sucesso parcial na erradicação da população de peixes das espécies "largemouth bass", "white suckers", "bluegills", "bullheads", "nottled muddler" e peixes forrageiros, no lago Cox Holow, Wisconsin (Brynildson, 1970).

Sistematicamente, o Bayluscida vem sendo utilizado nos Perímetros Irrigados do DNOCS no combate ao caramujo, *Biomphalaria stramineus*, hospedeiro intermediário do agente etiológico da esquistossomose. Entretanto, pretendendo este Departamento implantar em futuro próximo projetos de piscicultura intensiva nos citados Perímetros, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de ser determinada a dosagem letal para os moluscos, sem afetar a vitalidade dos peixes que serão criados em viveiros abastecidos com a água dos canais de irrigação do DNOCS.

MATERIAL E MÉTODOS

O bayluscida em pó molhável é um produto fabricado pela Companhia Bayer, da Alemanha. Quimicamente, é o sal de ethanolamine do ingrediente ativo 5,2 — dicloro — 4 nitro-salicilanilida, conhecido por niclosamida.

Os organismos submetidos aos testes foram os moluscos da espécie *Biomphalaria stramineus* e do gênero *Ampularia*, bem como os peixes *Tilapia nilotica*, *Tilapia hornorum*, *Tilapia rendalli* e o híbrido de tilápia resultante do cruzamento da *T. hornorum* x *T. nilotica*.

Os experimentos foram realizados "in vitro", na Estação de Piscicultura Valdemar Carneiro de França, em Amanari, Maranguape, Ceará, mediante o uso de cubas de vidro de 22,5 x 17,5 x 32,0 cm, contendo 6.000 ml de água, abastecidas de ar produzido por compressor e difundido no meio aquático por tubos de borracha com pedras porosas nas extremidades, a fim de garantir suprimento de oxigênio dissolvido durante todo o período dos testes.

As dosagens usadas em cada experimento foram adicionadas à água com auxílio de pipetas aferidas de 0,01, 0,1, 1,0, 5,0 e 10,0 mililitros, partindo-se de uma solução 1:1000. Efetuou-se vinte e cinco experimentos correspondentes às diferentes dosagens, com três repetições para cada, durante 24 horas, salvo quando a letalidade atingia a 100 por cento, com a imediata suspensão do teste.

* Eng^o Agr^o., chefe do Serviço de Limnologia, do Centro de Pesquisas Ictiológicas, da Diretoria de Pesca e Piscicultura do DNOCS.

** Pesquisador em Biologia, Diretor da Diretoria de Pesca e Piscicultura do DNOCS. 3/ Marca registrada da Bayer, também conhecido por Bayer 73.

Para cada experimento usou-se 4 exemplares de cada espécie de tilápia, 30 de *B. stramineus* e 20 de *Ampularia*.

Os exemplares de tilápia usados nos testes, foram previamente medidos e pesados (Tab. 2).

A fim de evitar a fuga dos moluscos e salto dos peixes para fora das cubas, adaptou-se às mesmas telas flutuantes de nailon, fixadas em isopor.

Análises físicas e químicas da água, utilizada nos testes (Tab. 3), foram realizadas e obedeceram os seguintes métodos: CO₂ livre, alcalinidade total, carbonatos e bicarbonatos (American Public Health Association, 1971) e pH — segundo W.A. Taylor & Co. (19..).

RESULTADO E DISCUSSÃO

Na Tab. 01 se encontra a percentagem de mortalidade dos organismos submetidos aos vinte e cinco testes, com diferentes concentrações do tóxico.

Durante os treze primeiros testes não se constatou nenhum efeito sobre as tilápias, entretanto, a partir do primeiro se verificou uma sensibilidade do *B. stramineus*, somente evidenciada no *Ampularia*, no segundo experimento.

No nono teste, quando a concentração do Bayluscida estava em 0,20 mg/1, a taxa de mortalidade para o *B. stramineus* foi de 100 por cento, contudo, somente no teste seguinte, com 0,25 mg/1, todos os exemplares de *Ampularia* morreram.

A taxa de mortalidade, variável de 25 a 50 por cento, para a *Tilapia rendalli* foi alcançada no décimo quarto teste, enquanto as *T. nilotica*, *T. hornorum* e tilápia híbrida mantiveram-se inócuas.

No décimo sexto teste a *T. nilotica*, *T. hornorum* e tilápia híbrida mostraram-se sensíveis ao produto, com uma taxa de mortalidade de até 25 por cento, enquanto que para a *T. rendalli* esta foi de 100 por cento.

No décimo oitavo ao vigésimo teste, a taxa de letalidade variou de 50 a 100 por cento para a tilápia híbrida e de 0 a 100 por cento e 25 a 100 por cento para as *T. nilotica* e *T. hornorum*, respectivamente.

No teste vinte e um, cuja concentração foi de 0,80 mg/1, a taxa de mortalidade alcançou 100 por cento, em todas as repetições, para a *T. nilotica*, *T. hornorum* e tilápia híbrida.

Verifica-se assim ser a *T. rendalli* mais sensível à ação do Bayluscida, com DL 100 de 0,55 mg/1, seguida de *T. hornorum*, tilápia híbrida e *T. nilotica*, pela ordem.

A DL 50 para essas espécies foi de 0,45 mg/1 para *T. rendalli*, 0,60 mg/1 para a *T. hornorum*, 0,65 mg/1 para a tilápia híbrida e 0,70 mg/1 para a *T. nilotica*.

Provavelmente, a pequena resistência da *T. rendalli* à ação do Bayluscida se deve ao diminuto tamanho dos exemplares usados nos experimentos.

Sugere-se, portanto, a utilização da *T. nilotica* e da tilápia híbrida para a criação intensiva nos Perímetros Irrigados do DNOCS, uma vez que referidas espécies se mostraram mais resistentes à ação ichtiotóxica do Bayluscida.

Recomenda-se ainda que sejam usados nos Perímetros Irrigados do DNOCS dosagem de Bayluscida na concentração de 0,30 mg/1, que se mostrou 100 por cento eficaz para os moluscos e inócua para os peixes.

SUMÁRIO

Projetos de piscicultura intensiva nos Perímetros Irrigados do DNOCS serão brevemente implantados em áreas que não se prestam para culturas agrícolas, com o fim de aumentar a produtividade das terras e a rentabilidade dos colonos.

Como sistematicamente vem sendo usado nos citados Perímetros para o combate ao caramujo, hospedeiro intermediário do agente etiológico da esquistossomose, o moluscocida conhecido comercialmente por Bayluscida, o qual é também tóxico pra peixes, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de ser conhecida a dosagem lenta 100 por cento para moluscos, sem afetar os peixes destinados a este tipo de criação.

Os organismos submetidos aos testes foram os moluscos da espécie *Biophalaria stramineus* e do gen. *Ampularia* e os peixes *Tilapia nilotica*, *Tilapia hornorum*, *Tilapia rendalli* e o híbrido de tilápia resultante do cruzamento da *T. hornorum* x *T. nilotica*.

Os experimentos foram efetuados "in vitro", na Estação de Piscicultura Valdemar Carneiro de França, em Maranguape, Ceará, mediante cubas de vidro com 6.000 ml de água, abastecidas de ar fornecido por compressor, sendo aquele introduzido na água por meio de pedras porosas, com o fim de ser garantido o suprimento de oxigênio dissolvido, durante todo o período dos testes.

As seguintes conclusões foram feitas no final do experimento:

- a) na concentração de 0,20 mg/1 o produto é inócuo para as tilápias, contudo é 100 por cento letal para o *B. stramineus* e 60 por cento para o *Ampularia*;
- b) na dosagem de 0,25 mg/1 é 100 por cento letal para o *B. stramineus* e *Ampularia*, sendo inócuo para as tilápias;
- c) na concentração de 0,45 mg/1 é tóxico para a *T. rendalli*, com uma taxa de mortalidade de 25 a 50 por cento, sendo entretanto, inócuo para a *T. nilotica*, *T. hornorum* e tilapia híbrida;
- d) na concentração de 0,55 mg/1 a taxa de mortalidade para a *T. rendalli* foi de 100 por cento, enquanto para a *T. nilotica*, *T. hornorum* e tilapia híbrida foi de apenas 25 por cento;
- e) na dosagem de 0,75 mg/1 é letal para todas as tilápias. Sugere-se que sejam usadas nos Perímetros Irrigados do DNOCS dosagem de Bayluscida na concentração de 0,30 mg/1, que mostrou ser 100 por cento eficaz para moluscos e inócuo para os peixes submetidos aos testes, os quais poderão ser criados sem inconveniências.

BIBLIOGRAFIA

- American Public Health Association, 1971. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 13th Ed. American Public Health Assoc., N.Y. 874 pp.
- Brynildson, c., 1970, Results of Chemical Fish Erradication of Cox Hollow Lake, Iowa Country. Wisc. Dept. of Natural Resources, Bureau of Fish Management, Management Report nº 31, 8. p.
- Chemagro Corp., 1970, Bayluscida, molluscicide, 6p. folder., Kansas City, Missouri.
- Gonnert, R., 1962, Bayluscide, a New Compound for Controlling Medically Important Freshwater Snails. Pflanzenschutz-Nachr. Bayer 15: 4-24.
- Hoestlandt, H., 1971, Toxicité de Deux Molluscicides (Bayluscide et Frescon) a l'Egard de la Moule D'Eau Douce (*Dreissena Polymorpha* Pallas), Bulletin Français de Pisciculture, nº 2(44): 104-110.
- Jacob, B.L., 1966, A preliminary Report on the Bayluscide Treatment of the Mainstee River, Crawford-Kalkaska Counties, Mich. Dept. Cons. 8 pp. plus tables and figures. (mimeo).
- Lennon, R.E., J.B. Hunn, R.A. Schnick e R.M. Burrese, 1970. Reclamation of Ponds, Lakes, and Streams with Fish Toxicants: a Review., FAO Fish. Tech. Pap. 100, 99 pp.
- Marking, L.L. e J.W. Hogan, 1967, Toxicity of Bayer 73 to Fish, U.S. Bur. Sport Fish. Wild., Invest. Fish Control 19 (Resour. Publication 36), 13 pp.
- Newton, M.E. e C.M. Fetterolf, Jr., 1967, Experimental Use of Bayluscide for Control of Swimmers' Itch, Michigan Water Resources Commission, 1 p. (mimeo).
- Smith, B.R., 1967, Lamprey Control and Research in the United States, Great Lakes Fish. Comm. Annu. Rep. for 1966, pag. 23-40.
- Smith, B.R. e R.A. Braem, 1972, Lamprey Control in the United States, Great Lakes Fish Comm. Annu. Rep. for 1970, pag. 30-42.
- Smith, B.R. e E.L. King, Jr., 1970, Lamprey Control in the United States, Great Lakes Fish. Comm. Annu. Rep. 1969, pag. 29-40.
- W.A. Taylor & Co., . . . , Instricction for Use of Taylor Slide Comparators for the pH, Chlorine and Phosphate Control and for Water Analysis, 34 pp..

TABELA 01 - RESULTADOS DOS TESTES DE GRAU DE TOXIDEZ DO BAYALUSCIDA PARA PEIXE E MOLUSCOS DE ÁGUA DOCE

TESTE	DATA		HORA		VOLUME PLANTA (L)	CONCENTRAÇÃO BAYALUSCIDA (g/L)	QUANTIDADE DE PEIXES						MORTALIDADE												MOLUSCOS							
	INÍCIO	TÉRMINO	INÍCIO	TÉRMINO			MORTALIDADE						MORTALIDADE												MORTALIDADE							
01	13/10/75	14/10/75	14:30	14:30	5,000	0,04	4	4	4	4	20	20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	3,3	6,6	0,0	0,0	0,0		
02	"	"	"	"	5,000	0,05	4	4	4	4	20	20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6	6,6	10,0	5,0	5,0	10,0		
03	"	"	"	"	5,000	0,05	4	4	4	4	20	20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	13,3	16,6	10,0	15,0	15,0		
04	"	"	"	"	5,000	0,05	4	4	4	4	20	20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,6	20,0	20,0	15,0	15,0	20,0		
05	"	"	"	"	5,000	0,05	4	4	4	4	20	20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	20,0	23,3	10,0	20,0	25,0		
06	"	"	"	"	5,000	0,05	4	4	4	4	20	20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	20,0	23,3	10,0	20,0	25,0		
07	"	"	"	"	5,000	0,10	4	4	4	4	20	20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	20,0	40,0	20,0	20,0	30,0		
08	13/10/75	14/10/75	14:30	16:30	5,000	0,15	4	4	4	4	20	20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	62,3	70,0	20,0	30,0	30,0		
09	"	"	"	"	5,000	0,20	4	4	4	4	20	20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	80,0	80,0	30,0	40,0	60,0		
10	"	"	"	"	5,000	0,25	4	4	4	4	20	20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0	30,0	50,0	100,0		
11	"	"	"	"	5,000	0,30	4	4	4	4	20	20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		
12	"	"	"	"	5,000	0,35	4	4	4	4	20	20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		
13	"	"	"	"	5,000	0,40	4	4	4	4	20	20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		
14	"	"	"	"	5,000	0,45	4	4	4	4	20	20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		
15	15/10/75	16/10/75	18:30	18:30	5,000	0,50	4	4	4	4	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0	25,0	50,0	100,0	100,0	100,0		
16	"	"	"	"	5,000	0,55	4	4	4	4	-	-	0,0	0,0	25,0	0,0	25,0	25,0	0,0	0,0	25,0	100,0	100,0	100,0	-	-	-	-	-	-		
17	"	"	"	"	5,000	0,60	4	4	4	4	-	-	0,0	0,0	25,0	25,0	50,0	50,0	25,0	25,0	50,0	100,0	100,0	100,0	-	-	-	-	-	-		
18	"	"	"	"	5,000	0,65	4	4	4	4	-	-	0,0	25,0	25,0	50,0	50,0	100,0	25,0	50,0	50,0	100,0	100,0	100,0	-	-	-	-	-	-		
19	"	"	"	"	5,000	0,70	4	4	4	4	-	-	25,0	50,0	50,0	50,0	100,0	100,0	25,0	50,0	75,0	100,0	100,0	100,0	-	-	-	-	-	-		
20	16/10/75	16/10/75	08:30	12:30	5,000	0,75	4	4	4	4	-	-	75,0	100,0	100,0	75,0	100,0	100,0	75,0	75,0	100,0	100,0	100,0	100,0	-	-	-	-	-	-		
21	"	"	"	"	5,000	0,80	4	4	4	4	-	-	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	-	-	-	-	-	-		
22	"	"	"	"	5,000	0,85	4	4	4	4	-	-	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	-	-	-	-	-	-		
23	"	"	"	"	5,000	0,90	4	4	4	4	-	-	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	-	-	-	-	-	-		
24	"	"	"	"	5,000	1,00	4	4	4	4	-	-	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	-	-	-	-	-	-		

TABELA 02

VARIAÇÃO DO COMPRIMENTO E PESO DOS PEIXES UTILIZADOS NOS TESTES COM BAYLUSCIDA

TESTE	PEIXES															
	TILAPIA NILOTICA				TILAPIA ROSEORUM				TILAPIA NERITA				TILAPIA BENTALI			
	COMPRIMENTO (cm)		PESO (g)		COMPRIMENTO (cm)		PESO (g)		COMPRIMENTO (cm)		PESO (g)		COMPRIMENTO (cm)		PESO (g)	
	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO
01	77	74	8,5	6,9	99	73	15,3	6,2	84	62	10,2	9,8	50	49	1,9	1,8
02	80	72	8,7	6,8	90	74	12,1	5,6	83	78	10,3	6,7	49	45	1,8	1,6
03	85	73	9,3	6,8	81	77	9,3	7,0	96	68	12,2	10,3	47	43	1,6	1,2
04	90	81	12,4	6,9	76	73	6,6	6,5	78	68	8,3	6,3	49	43	2,0	1,2
05	79	74	8,4	6,6	80	74	7,3	6,9	87	79	11,5	6,7	49	43	2,1	1,1
06	77	70	8,3	6,8	72	70	6,8	6,7	84	77	8,8	6,9	50	49	2,1	2,0
07	72	70	7,4	7,1	72	67	6,3	4,4	76	67	7,2	5,2	51	47	1,9	1,1
08	78	70	8,5	7,3	77	68	7,0	5,1	82	76	7,7	6,7	47	46	1,5	1,4
09	92	84	13,4	9,0	90	74	12,1	5,5	79	77	6,8	6,1	45	43	1,2	1,2*
10	84	80	8,9	8,7	75	68	5,8	4,9	83	77	8,9	7,7	47	45	1,4	1,2
11	85	78	9,5	7,9	76	73	6,5	6,2	81	76	7,8	6,7	46	45	2,0	1,9
12	76	74	7,7	7,2	80	68	8,2	5,2	76	73	6,8	6,1	49	46	2,1	2,0
13	76	72	8,9	8,7	74	72	6,4	5,8	81	78	8,1	7,5	48	44	1,9	1,6
14	85	80	9,9	8,7	80	66	7,1	4,2	87	79	10,8	7,6	50	47	1,8	1,4
15	81	75	10,0	7,9	68	65	5,0	4,8	84	77	8,8	6,9	50	49	1,7	1,7
16	86	80	10,6	7,5	73	68	6,2	4,9	84	78	8,7	6,7	50	47	2,4	2,3
17	84	67	9,4	4,9	67	62	5,1	3,9	93	82	13,3	8,5	48	47	1,8	1,8
18	98	77	17,6	8,9	66	62	4,7	4,5	94	76	8,9	6,8	48	45	2,0	1,8
19	93	75	14,4	7,2	72	65	6,1	4,8	82	77	10,3	8,9	51	44	2,4	1,8
20	84	68	9,0	6,1	67	65	5,5	4,5	86	75	10,9	6,3	49	47	2,4	2,3
21	77	70	9,0	6,8	81	64	9,4	5,4	84	82	10,3	10,0	49	47	2,1	2,0
22	72	70	6,8	6,7	77	66	6,3	5,0	87	79	10,3	6,7	48	46	2,2	2,0
23	72	65	6,8	4,9	72	59	6,4	3,7	86	82	9,7	8,8	49	47	2,3	2,0
24	75	72	7,1	6,9	78	68	8,2	6,3	77	72	7,2	6,3	50	47	2,3	2,0
25	85	70	11,8	6,4	80	64	8,7	4,5	80	77	7,4	6,5	49	47	2,2	1,9

ELEMENTOS FÍSICO-QUÍMICOS					
TEMPERATURA °C	CO ₂ LIVRE mg/l	pH	ALCALINIDADE TOTAL EM CaCO ₃ mg/l	CARBONATOS EM CaCO ₃ mg/l	BICARBONATOS EM CaCO ₃ mg/l
26,5	7,92	7,6	46,0	nihil	46,0
25,5	6,47	7,5	44,8	nihil	44,8

NECESSIDADES EM ÁGUA POR CULTURA DE ARROZ EM CONDIÇÕES DE SEQUEIRO

O. Brunici *
R. M. Alfonsi *
J. M. Santos **
A. A. Ortolani ***
M. J. Pedro Jr ***
L. R. Angeloci ***

O estudo das necessidades hídricas de uma cultura é fator relevante quando se deseja caracterizar essa cultura em função do clima. O consumo de água por comunidades vegetais, significa toda a água evaporada da superfície da planta e do solo e transpirada pelas plantas, inclusive aquela retida nos tecidos vegetais.

Nos estudos atuais de balanço hídrico e consumo de água pelos vegetais, grande ênfase é dada à disponibilidade de água no solo, e a sua relação com os elementos climáticos e o desenvolvimento vegetal. Estas afirmativas são corroboradas por BAIER (1965), que analisando a inter-relação entre elementos meteorológicos, umidade do solo e crescimento vegetal, concluiu que a estimativa da evapotranspiração potencial precisa ser modificada, pela aplicação dos parâmetros de solo e da planta que influenciam.

Analisando os métodos de determinação da evapotranspiração real, THORNTHWAITE e HAREL (1965) concluem que a radiação líquida, tipo de vegetação e de solo, influem na estimativa da evapotranspiração real.

Estudando o consumo de água por culturas de milho, DALE (1968) afirma que a evapotranspiração real está intimamente relacionada com a umidade do solo e a facilidade com que a água disponível pode ser extraída do solo.

BLACK et alii (1970 e 1970a) afirmam que a transpiração de uma vegetação é função da evaporação potencial, da umidade do solo, da resistência estomatal, do índice de área foliar e do tipo de solo.

Ao estudarem a taxa de transpiração e potencial da água em folhas de arroz, TOMAR e GHILDYAL (1973) concluíram que estes parâmetros estão intimamente relacionados com os elementos climáticos e a disponibilidade da água no solo. Do mesmo modo, GARDNER e MILLAR (1973) observaram que o potencial da água no solo e na folha, assim como a condutância estomatal e a transpiração, influem na fotossíntese e no crescimento de plantas de cebolas e feijão. Afirmam ainda, que a taxa de crescimento diminuiu quando o potencial da água no solo foi inferior a -0,7 atmosferas.

THURTEL (1974) afirma que o estudo das relações água-planta contribuirá para um melhor entendimento das reações fisiológicas dos vegetais aos déficits de água no solo.

A evapotranspiração real pode ser determinada também, através da técnica de moderação, introduzida por BELCHER et alii (1950) para a medida da umidade do solo.

Inúmeros foram os autores que se utilizaram dessa técnica para estimativa dos vários termos do balanço hídrico e da evapotranspiração real dos vegetais, entre os quais podemos destacar: HOLMES (1956), BLACK et alii (1969), DENMEAD e SHAW (1962).

BARROS FERRAZ (1968) concluiu que esta técnica é conveniente para a determinação da evapotranspiração real e da condutividade hidráulica de um solo em condições de campo; à mesma conclusão chegou CRUCIANI (1972), que se utilizando da técnica de moderação de nêutrons, determinou o balanço hídrico em cultura de cana-de-açúcar, indicando como a mesma é vantajosa em estudos de água no solo.

No presente trabalho é determinada a evapotranspiração real da variedade de arroz IR-665, pela técnica de moderação de nêutrons sob duas densidades de plantio, cultivada em Latossolo Roxo, de textura argilosa, no Centro Experimental de Campinas.

*Seção de Climatologia Agrícola — IAC — Campinas (Bolsistas do CNPq).

**Departamento de Física e Meteorologia do CEMA — Piracicaba.

***Seção de Climatologia Agrícola — IAC — Campinas.

MATERIAL E MÉTODO

O experimento foi realizado em área de relevo plano, no Centro Experimental do Instituto Agronômico de Campinas, cujo solo é caracterizado como Latossolo Roxo de textura argilosa.

Foi utilizada a variedade de arroz IR-665 cujas plantas apresentam uma altura máxima de 0,80 m e folhas eretas. As plantas foram semeadas a 0,30 e a 0,60 m entre linhas e 0,10 m entre plantas. Cada parcela possuía uma área útil de 100 m² (10 x 10 m). Utilizou-se a adubação normal de formação 40-60-30, sendo 1/3 no nitrogênio aplicado no plantio e 2/3 em cobertura.

A umidade do solo foi determinada nas parcelas representativas de cada tratamento pela técnica de moderação de neutrons. Para tanto foram instalados 3 tubos de alumínio de diâmetro externo 4,5 cm e interno de 4 cm, até uma profundidade de 120 cm para acesso da sonda de neutrons.

Essa técnica foi a utilizada para determinação da umidade nas profundidades de 30, 60, 90 e 120 cm, enquanto que para a superfície utilizou-se o método gravimétrico.

O consumo de água por esse vegetal (evapotranspiração) sob as duas condições de cultivo, foi determinado pelo método do balanço hídrico no campo.

A expressão do balanço hídrico nesse caso pode ser escrita como:

$$E = P + I - D + M \quad (1)$$

sendo:

- E = evapotranspiração real
- P = precipitação
- I = irrigação
- D = drenagem profunda
- M = variação no armazenamento da água no solo

O consumo de água foi determinado nas parcelas representativas de cada tratamento e obteve-se um valor médio da umidade do solo às profundidades de 0, 30, 60, 90 e 120 cm, resultante da medida dos três locais, conforme a expressão:

$$O = \frac{O_1 + O_2 + O_3}{3} \quad (2)$$

Pelo fato da planta de arroz possuir um sistema radicular pouco profundo, e que 95% das suas raízes encontram-se nos primeiros 0,20 m de solo (Germek et alii, 1950), a evapotranspiração real (E) foi determinada considerando-se uma profundidade máxima de 0,30 m, para exploração das raízes.

A quantidade de água armazenada (M) em uma camada de solo, até uma profundidade Z (igual a 0,30 m no presente caso), pode ser obtida pela expressão:

$$M = \int_0^Z \theta(z) dz \quad (3)$$

Essa expressão pode ser resolvida pela aproximação da integral pela área do trapézio correspondente. A variação no armazenamento (M) em um intervalo $t_2 - t_1$ é dado por:

$$M = M_2 - M_1 \quad (4)$$

A precipitação pluviométrica foi obtida em Posto Meteorológico ao local do experimento, e nos casos em que houve necessidade de irrigação, a mesma foi medida com pluviômetro instalado no centro da cultura.

Para a estimativa da componente de drenagem, utilizou-se a condutividade hidráulica obtida pelo método de laboratório, determinando-se um valor médio da condutividade hidráulica para cada intervalo de medidas.

Uma vez que o gradiente de potencial da água no solo não foi observado, adotou-se o método de Black et alii (1969) no qual o gradiente de potencial é considerado unitário. Desse modo o fluxo de drenagem (q_d) em um certo período é igual ao valor médio da condutividade hidráulica do solo (K) no período considerado, de modo que:

$$q_d = K \quad (5)$$

Através desse raciocínio a drenagem total no intervalo de tempo t fica igual a:

$$D = q_d \cdot t \dots \dots \dots (6)$$

Conhecido o valor da componente de drenagem (D), a variação no armazenamento (M) e o total de precipitação (P) no período considerado e, uma vez que o escoamento superficial (R) foi desprezado, por ser área de relevo plano, a evapotranspiração real (E) pode ser facilmente determinada com o auxílio da expressão (1).

A evapotranspiração real (E) e a drenagem profunda (D) foram determinadas nos dois tratamentos durante todo o período de desenvolvimento vegetal a intervalos aproximados de 3 dias.

RESULTADOS

No Quadro 1 são apresentados os valores da evapotranspiração real e da drenagem profunda nos dois tratamentos durante todo o período de observação.

QUADRO 1 – Evapotranspiração real observada e perda de água por drenagem profunda em cultura de arroz IR-665 sob as duas densidades de plantio.

P E R Í O D O	P mm	IR-665 (0,30 m)		IR-665 (0,60m)	
		E mm	D mm	E mm	D mm
19/12 - 25/12/73	49.7	4.0	31.4	3.3	36.5
26/12 - 02/01/74	88.0	42.2	46.9	39.8	49.0
3 - 11/1	64.8	19.9	49.5	11.0	56.5
12 - 21/1	83.8	65.4	27.0	59.0	35.0
22 - 25/1	51.4	25.9	15.9	25.7	16.9
26 - 04/2	141.0	90.0	49.0	87.4	51.5
5 - 13/2	42.6	32.0	12.5	46.2	10.8
14 - 22/2	72.0	58.8	30.8	52.2	25.0
23 - 01/3	70.3	35.6	17.4	35.6	17.3
2 - 06/3	0.0	14.4	11.4	15.0	11.4
7 - 22/3	189.1	114.8	46.0	27.7	122.1
23 - 29/3	5.8	15.5	14.1	14.5	23.1
30 - 03/4	1.8	10.9	.7	7.4	1.3
4 - 08/4	7.8	3.9	1.3	9.0	1.0
9 - 10/4	0.0	3.9	.1	4.7	.2
T O T A L	868.1	537.2	354.0	438.5	457.6

A Figura 1 apresenta o total acumulado de água evapotranspirada durante todo o período de desenvolvimento da variedade de arroz IR-665 sob os dois espaçamentos, assim como a precipitação pluviométrica total em cada período de vegetação.

Na Figura 2 são apresentados os índices de área foliar da variedade de arroz sob as duas densidades de plantio; observa-se que no espaçamento de 0,30 m o índice de área foliar foi bem superior ao espaçamento a 0,60 m.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostraram que o consumo de água por essa variedade de arroz é influenciado pelo índice de área foliar e pelo estágio de desenvolvimento das plantas.

Observa-se que no espaçamento de 0,30 m entre linhas a variedade de arroz IR-665 apresentou maior consumo de água, pois nos 113 dias de observação o total de água evapotranspirado foi 537,2 mm enquanto no espaçamento de 0,60 m o total evapotranspirado foi 438,5 mm.

Pela figura 1 pode-se observar que no período compreendido entre o início do florescimento e formação de panículas, o tratamento a 0,30 m apresentou uma evapotranspiração média de 7,2 mm por dia.

Durante todo o período de observação, o tratamento a 0,30 m entre linhas apresentou um valor médio de 4,75 mm por dia de evapotranspiração, enquanto o tratamento a 0,60 m obteve um valor médio de 3,88 mm por

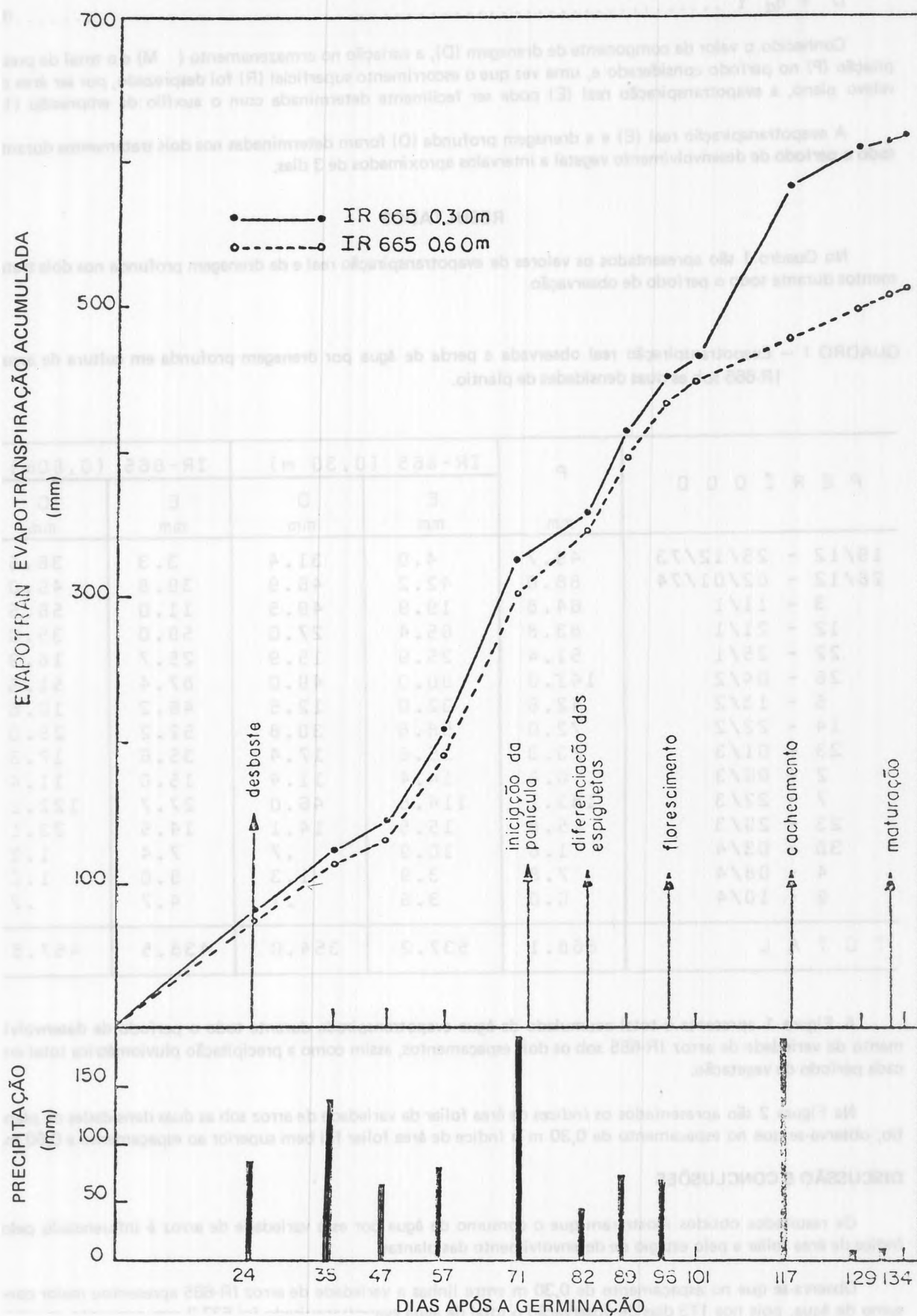


Figura 1 — Evapotranspiração acumulada, durante todo o ciclo vegetativo da variedade de Arroz IR-665, sob as duas densidades de plantio e precipitação pluviométrica acumulada nos vários períodos de análise.

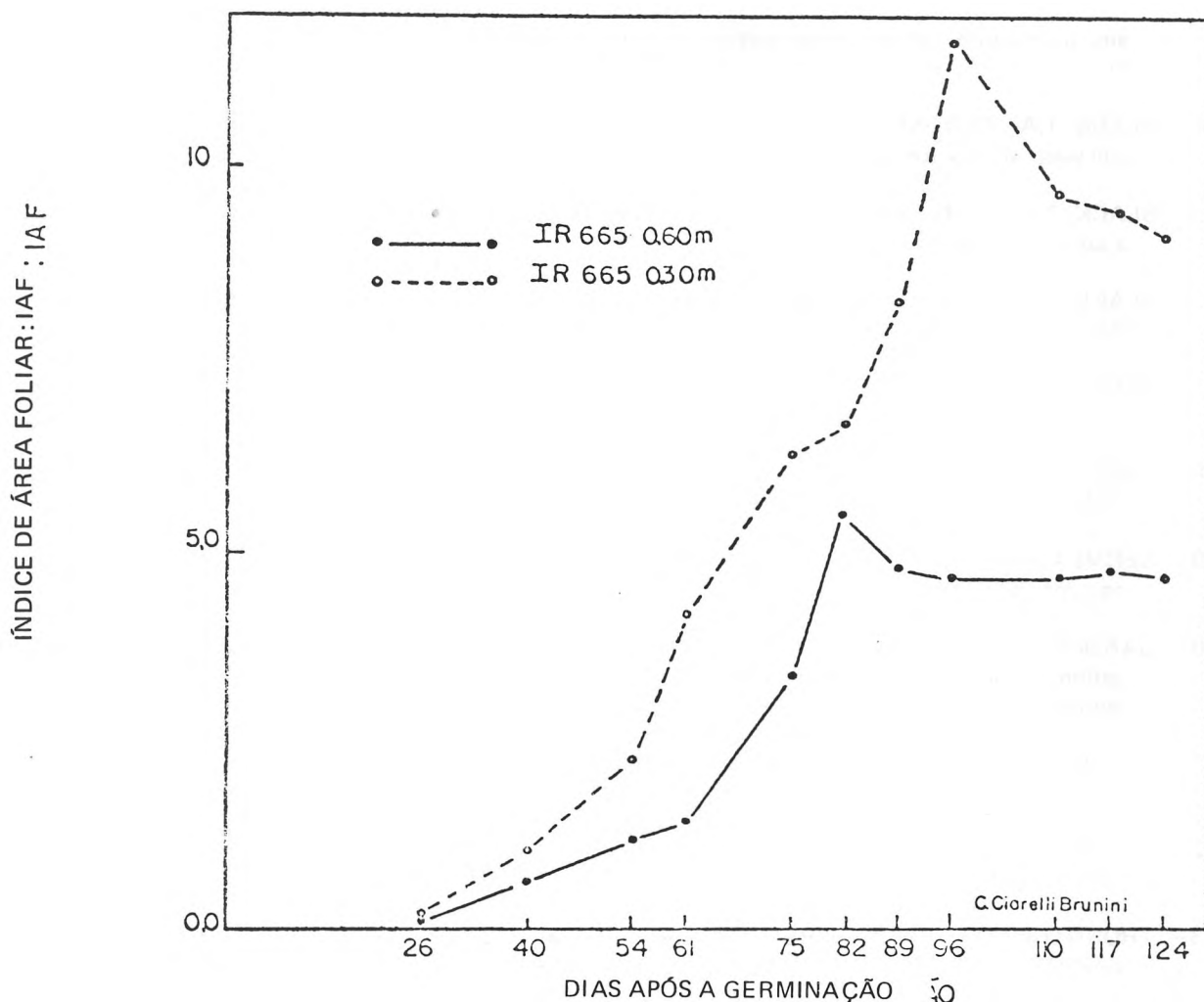


Figura 2 — Índice de área foliar (IAF), obtido nas duas densidades de plantio durante todo o ciclo vegetativo, da variedade de arroz IR-665.

dia. Com base nestes resultados e considerando que o ciclo total da cultura foi de 134 dias, podemos concluir que durante todo o seu desenvolvimento essa variedade de arroz evapotranspirou 616 mm sob espaçamento de 0,30 m e 512 mm sob espaçamento de 0,60 m.

Um outro fator que se mostrou de grande importância neste estudo é a perda de água por drenagem profunda, pois durante os 113 dias de observação a drenagem profunda correspondeu a 354 mm para o plantio a 0,30 m e 457,6 mm para o plantio a 0,60 m.

SUMMARY

The actual evapotranspiration of the rice variety IR-665 sowed at 30 and 60 cm between rows, was determined with the neutron scattering method.

The treatment at 30 cm between rows had a mean value of 4,75 mm of evapotranspiration by day and the treatment at 60 cm between rows had 3,88 mm. A close relationship between leaf area index, planting density, stage of development of the crop and actual evapotranspiration was observed.

The deep drainage was an important parameter in this study because it frequently reached more than 50% from the total variation of the stored water in the soil.

BIBLIOGRAFIA

- 1 — BAIER, W. 1965. The interrelationship of meteorological factors, soil moisture and plant growth. *Int. J. Biometeor.* 9(1): 5-20.
- 2 — BARROS FERRAZ, E.S. 1972. Estudo da Evapotranspiração real através da medida de umidade do solo por moderação de neutrons. BC-005, CENA — Piracicaba, 40 p.
- 3 — BELCHER, D.J.; CUYKENDALL, T.R. & SACK, H.S. 1950. The measurement of foil moisture and den-

sity by neutron and gamma-ray scattering. Civil Aeronautical Adm. Sech. Div. Rept. 127, Washington, D.C. .

- 4 – BLACK, T.A.; GARDNER, W.R. & THURTELL, G.W. 1969. The prediction of evaporation drainage and soil water storage for a bare soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 33: 655-600.
- 5 – BLACK, T.A.; GARDNER, W.R. & TANNER, C.B. 1970. Water storage and drainage under a row crop on a sandy soil. *Agron. J.* 62: 48-51.
- 6 – BLACK, T.A.; TANNER, C.B. & GARDNER, W.R. 1970a. Evapotranspiration from a snap bean crop. *Agron. J.* 62: 66-69.
- 7 – CRUCIANI, D.E. 1972. Balanço Hídrico em solo cultivado com cana-de-açúcar. Utilização do Método da Moderação de Neutrons. BC-006, CENA – Piracicaba, 36 p.
- 8 – DALE, R.F. 1968. The climatology of soil moisture, evaporation, and mon-moisture stress days for corn in Iowa. *Agr. Meteorol.* 5: 111-128.
- 9 – DENMEAD, O.T. & SHAW, R.H. 1962. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. *Agron. J.*, 54: 385-390.
- 10 – GARDNER, W.R. & MILLAR, A.A. 1973. Plant Response to field water balance. In *Soil-Moisture and Irrigation Studies II. Proceedings of a panel on the use of Nuclear techniques in soil physics and irrigation studies* – FAO – IAEA, p. 143-153.
- 11 – GERMEK, E.B.; INFORZATO, R. & FRANCO, C.M. 1950. Estudo sobre o sistema radicular do arroz. *Bragantia* 10: 89-92.
- 12 – HOLMES, J.W. 1956. Measuring soil water content and evaporation by the neutron scattering method. *Neth. J. Agric. Sci.*, 4: 30-34.
- 13 – THORNTON, C.W. & HAREL, F.K. 1965. The loss of water to the air. In P.E. Waggoner, (ed). *Agricultural Meteorology*, chapter 11 – *Meteorological Monographs* 6(28): 163-180.
- 14 – THURTELL, G.W. 1974. Plant Water relationships – In *Guelph Project – International Biological Programme*. p. 89.
- 15 – TOMAR, V.S. & GHILDYAL, B.P. 1973. Internal leaf water status and transport of water in rice plants. *Agron. J.* 65: 861-865.

EFEITO DE NÍVEIS DE UMIDADE NA PRODUÇÃO DA VIDEIRA

Edson Lustosa de Possídio *

Edvaldo Sobral de Góes **

A. A. Millar ***

O Nordeste do Brasil apresenta condições de clima com altas temperaturas e luminosidade adequadas e equivalentes a outras regiões do mundo onde tem se desenvolvido a cultura de videira em condições altamente rentáveis. A viticultura no Nordeste não é uma atividade recente, iniciou-se em 1542 alcançando grande desenvolvimento durante o domínio holandês, por volta de 1636, em que receberam medidas de estímulo (7).

Através de observações feitas em culturas rudimentares, sem o emprego de técnicas que proporcionassem maior produtividade como também melhoria na qualidade do produto, tem-se observado o potencial produtivo da videira no Sub-Médio São Francisco. Dado as condições climáticas peculiares da região, carecia-se de uma série de informações no que diz respeito a metodologia de cultivo nos mais diversos aspectos.

Segundo Winkler (8), nas regiões temperadas, onde o clima está bem definido pelas estações do ano, a planta inicia sua brotação quando a temperatura média dos dias atinge 10°C. As flores começam a aparecer quando a temperatura média diária alcança cerca de 20°C.

Na região do Sub-Médio São Francisco a variação de temperatura não está muito em função das estações do ano e sim em função de massas de ar, quentes ou frias que a atravessam, por estar situada em região tropical próxima ao equador. Nestas condições as temperaturas mínimas, que ocorrem nos meses de junho e julho não atingem o limite mínimo que impeça a floração. Por esta razão, as videiras aqui cultivadas vegetam durante todo o ano, desde que haja condições de umidade no solo. Esta particularidade nos possibilita obter produções em qualquer período do ano, uma vez que se faça o controle adequado de irrigação e poda, muito embora se observe uma queda de rendimento nas safras iniciadas nos meses mais frios (4).

Dai é que surgiu a idéia de se iniciar uma série de trabalhos experimentais com esta cultura tentando-se fixar níveis de adubação e umidade, sistema de condução, época de poda, quantidade e época de desbaste de frutos, etc.

Neste trabalho apresentam-se os resultados de um experimento de níveis de umidade, um dos primeiros a serem executados e por conseguinte com rendimentos muito baixos devido principalmente a idade das plantas (2 anos), mas que dá uma idéia das necessidades hídricas da videira.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi executado na Estação Experimental de Mandacaru, na época pertencente à Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, atualmente à Superintendência do Vale do São Francisco, situada a 14 Km da cidade de Juazeiro, no mesmo município, com coordenadas geográficas de 9°24' de latitude sul e 40°26' de longitude oeste de Greenwich, e uma altitude de 375 m.

O clima, segundo a classificação de Koppen, corresponde a BSh'W, quente com chuvas periódicas (2). A velocidade média dos ventos é de 10 Km/hora, entretanto, 18 Km/hora é comum como média diária. A umidade relativa varia de 44% em outubro, a 65% em maio. A temperatura máxima média mensal é de 28,5°C em outubro e a mínima é de 24°C em junho. A mínima média anual é de 20,8°C e a média máxima é de 32,2°C. A temperatura máxima absoluta atinge 39,1°C em outubro e a mínima absoluta 12,1°C. junho-julho.

As evaporações médias mensais em uma medida no tanque U.S.W.B. classe A pan, a chuva mensal e a umidade relativa e outros parâmetros climáticos apresentam-se na Tabela 1.

O solo da área experimental é um vertissolo caracterizado por um alto teor de argila do tipo montmorilonita, em topografia plana, assentado em rocha calcária e com profundidade variando entre 1,50 a 2,00 m. Na Tabela 2, apresentam-se algumas características físicas e químicas deste solo, e na Figura 1 a curva de retenção de umidade.

* Engº Agrº Coordenador do NTA/EI/DRN/SUDENE

** Engº Agrº Estudos Integrados, DRN/SUDENE

*** Engº Agrº Ph.D., Especialista em Irrigação do IICA, Convênio MINTER/IICA.

Tabela 1. Variação mensal de alguns parâmetros climáticos medidos na Estação Agrometeorológica de Mandacaru.

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Evaporação (mm dia ⁻¹)	7,1	7,3	7,1	6,7	7,1	7,2	7,9	9,5	11,2	11,5	9,6	8,2
Chuva (mm mes ⁻¹)	72,4	105,7	135,1	60,0	6,0	18,5	3,7	1,2	1,7	8,8	41,4	80,7
Umidade re- lativa (%)	57	63	65	62	61	60	57	50	45	44	52	57
Temperatura (°C)	27,6	27,7	26,8	26,6	25,8	25,0	24,9	25,5	27,2	28,7	28,4	27,5
Radiação so- lar (Langley dia ⁻¹)	504,5	528,2	491,6	472,2	435,2	401,7	423,9	490,9	551,0	567,9	535,6	490,4

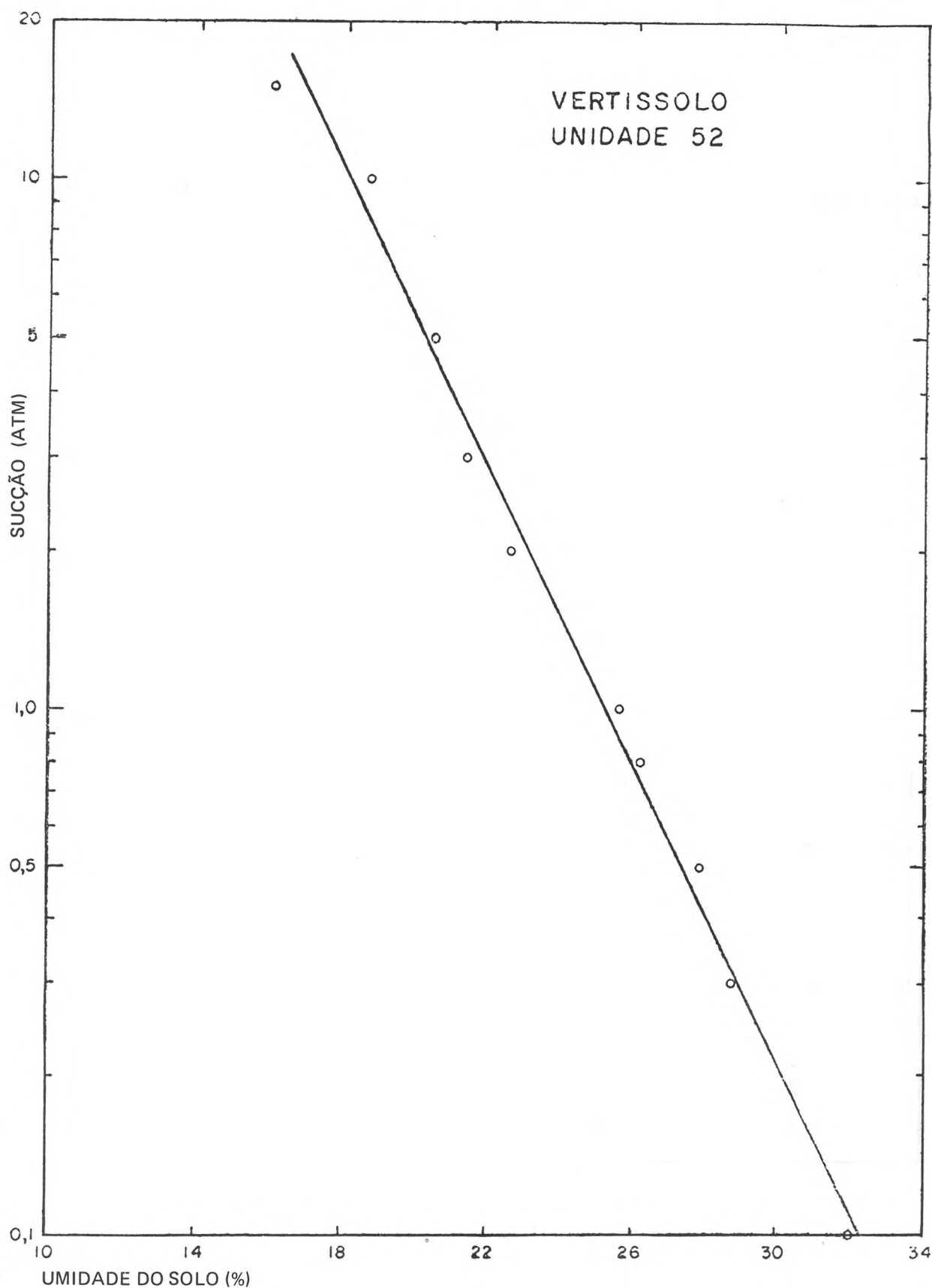


Figura 1. Curva de retenção de umidade do Vertissolo — Unidade 52.

Em 22 de Junho de 1968 foi plantada uma área de 7.524 m² com a variedade Pivano 65 (Itália) com espaçamento de 3 m entre fileiras e 2 m nas plantas. O total de plantas foi de 1.188. Estas plantas foram cultivadas até a idade de um ano, aproximadamente, com uma vara servindo-lhes de tutor. A partir daí instalou-se o sistema de condução, espaldeira simples com três fios de arame, e deu-se a primeira poda de formação cortando as plantas à altura do primeiro arame. Nesta ocasião aplicou-se uma adubação de 450 Kg de sulfato de amônio e 450 Kg de superfosfato simples. Ao mesmo tempo mudou-se o sistema de irrigação de sulcos para faixas de 2,5m de largura por 32m de comprimento. Com esta operação ficaram delimitados os blocos e dentro destes as parcelas a serem

Tabela 2. Dados Analíticos do Vertissolo – Unidade 52 – (0-30 cm)

Cascalho fino (%)	2,50	$\text{CO}_3^{=}$	2,16
Areia grossa (%)	12,00	pH (H_2O)	7,70
Areia fina (%)	20,00	P (ppm)	2,7
Limo (%)	15,00	Nitrogênio (%)	0,05
Argila (%)	52,00	C/N	6,10
Ca (me/100 g)	30,00	Matéria orgânica	0,64
Mg (me/100 g)	3,40	E C_e (mmhos/cm $\times 10^3$)	0,210
K (me/100 g)	0,26	Da (g/cm^3)	1,65
Na (me/100 g)	0,50		

utilizadas no experimento de níveis de umidade. A distribuição de parcelas e canais de irrigação mostram-se na Figura 2.

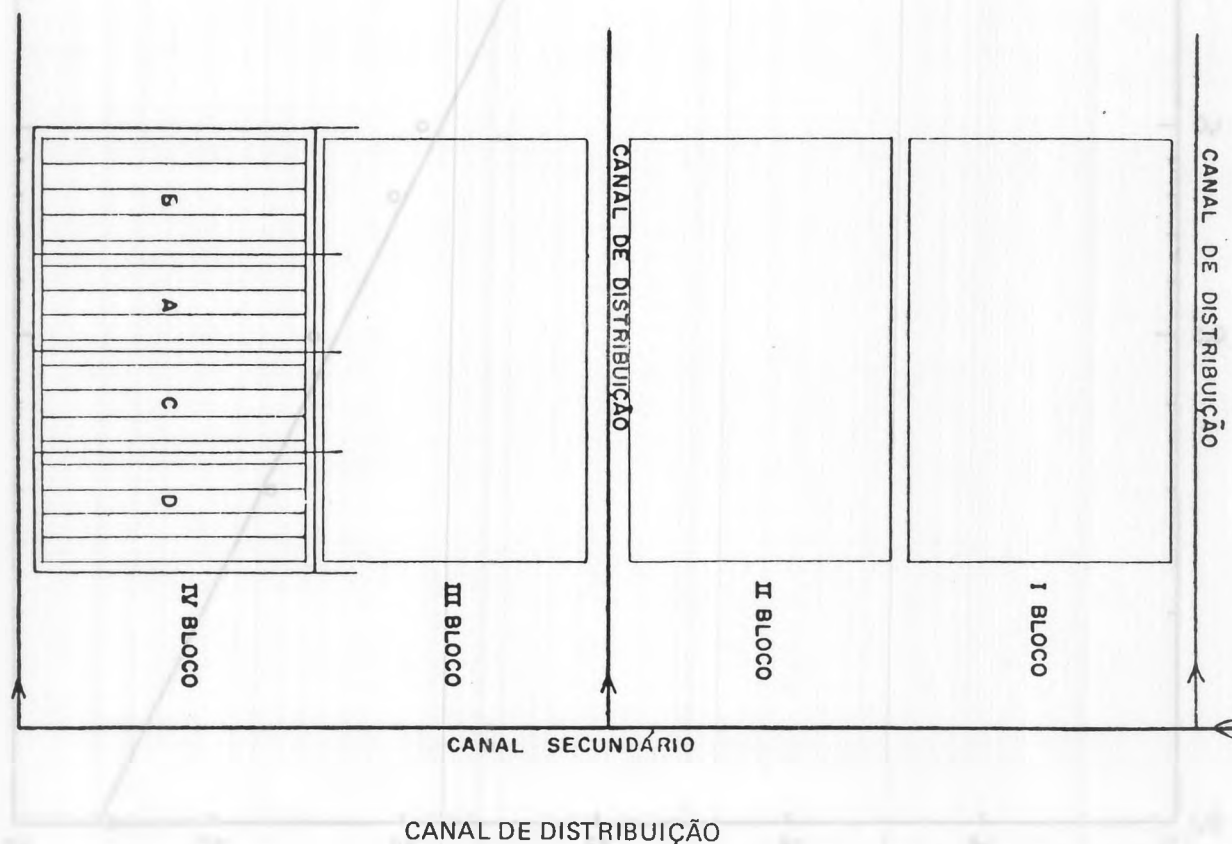


Figura 2. Distribuição de parcelas e canais de irrigação.

Com o reinício das irrigações as plantas começaram a brotar alguns cachos de flores, os quais foram eliminados antes da abertura das mesmas.

A área foi cultivada uniformemente, recebendo todos os tratos culturais exigidos pela cultura, até dois meses, aproximadamente, antes da poda em que se deu início ao controle de umidade.

Os tratamentos foram prefixados na curva de retenção de umidade do solo.

As características destes tratamentos em termos de tensão de umidade, nível de água disponível, lâminas aplicadas são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Características dos tratamentos de umidade

Tratamentos	Tensão de umidade (atm.)	Água total (%)	Nível de água disponível (%)	Lâmina de reposição (mm)*	Água total consumida (mm)
A	1,55	23,88	61	92,82	732
B	2,75	21,63	44	136,83	396
C	3,95	20,92	38	150,98	324
D	5,15	20,38	34	161,58	240

(*) Os cálculos de lâmina foram feitos para 120 cm de profundidade.

Todas as parcelas foram podadas nos dias 09 e 10.03.70. Em seguida aplicou-se uma adubação geral a lanço com 90Kg de N e 90Kg de P₂O₅ por hectare fazendo-se logo após uma escarificação para incorporar o adubo ao solo. O caule e sarmentos das plantas receberam uma pulverização super concentrada de compostos de cobre e enxofre com a finalidade de eliminar esporos de fungos patógenos à cultura.

Todo o controle de irrigação foi feito pelo método gravimétrico. A primeira irrigação foi geral para toda a área e foi aplicada em duas vezes porque a lâmina necessária para elevar o solo à capacidade de campo era muito grande e iria provocar transbordamento nas bacias de irrigação. A primeira amostragem acusou um déficit de água correspondente a 209mm, então foram aplicados 109mm no dia 25.03.70 e 100mm no dia 31.03.70. A partir desta data iniciou-se o controle de irrigação em todos os tratamentos com amostragens diárias.

Além da irrigação inicial o tratamento A recebeu mais 10 irrigações, o tratamento B mais 5, o tratamento C mais 3 e o tratamento D mais 2 irrigações. As lâminas destas irrigações estão previstas na Tabela 3 para cada um dos tratamentos.

Durante o trabalho foram efetuadas 3 podas verde, 3 capinas e aplicadas 10 pulverizações com uma calda mista de cosan e cupravit.

Como cada parcela tinha uma área de 384m², a colheita foi efetuada numa área de 144m² contendo 24 plantas, em 27.07.70.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 4 apresentam-se os resultados de rendimentos e porcentagem de açúcar dos diferentes tratamentos. Nos rendimentos se faz diferença entre rendimento bruto e líquido refere-se ao rendimento bruto menos o peso das uvas estragadas, manchadas e/ou muito pequenas que prejudicam a qualidade do produto. Dos dados anteriores calculou-se as porcentagens de descartes dos diferentes tratamentos os quais são incluídos na Tabela 4.

Tabela 4. Rendimento bruto e líquido (comercial), descarte e conteúdo de açúcar em videira submetidas a diferentes condições de irrigação.

Itens	TRATAMENTOS			D 5,15 Atm
	A 1,55 Atm	B 2,75 Atm	C 3,95 Atm	
Rendimento bruto (RB) (Kg ha ⁻¹)	2.797,61±128,85	3.570,73±131,50	2.984,23±947,07	2.901,95±556,19
Rendimento líquido (PL) (kg ha ⁻¹)	2.603,38±148,33	3.384,89±129,31	2.730,91±962,64	2.719,88±591,24
Descarte p/ comercialização (%) = 100 (RB-PL)/RB	6,94	5,20	8,49	6,27
CV do R. bruto (%)	4,6	3,7	31,7	19,2
CV do R. líquido (%)	5,7	3,8	35,6	21,7
Açúcar (%)	19,72	18,94	19,75	18,78

Dos resultados apresentados na Tabela 4, conclui-se que o tratamento B correspondente a um nível de umidade de 2,75 Atmosfera no solo é o que melhor se apresenta em termos de rendimento, menor porcentagem de desbaste e menor coeficiente de variação. A porcentagem de desbaste é um dado que dá uma idéia da maior quantidade de bagas estragadas e/ou manchadas, mas também indica a irregularidade no tamanho das bagas, efeito que provavelmente está estreitamente ligado às condições de umidade disponível para as plantas.

O Tratamento A (1,55 Atm) comparado com o Tratamento B (2,75 Atm) apresenta menores rendimentos e maiores coeficientes de variação, do que se pode concluir que altos níveis de umidade (61% de Água Disponível) são prejudiciais para as plantas.

Comparando-se ainda os dois últimos tratamentos C (3,95 Atm) e D (5,15 Atm), observa-se que os rendimentos são menores que B (2,75 Atm) porém não tanto quanto poderia se esperar. Isto pode ser atribuído a uma influência exercida pelos dois tratamentos mais úmidos, A e B, sobre os dois menos úmidos, C e D. Queiroz et al. (5) tem encontrado que a infiltração lateral dos vertissolos é aproximadamente 1,8 vezes a infiltração vertical. Existe a possibilidade que os tratamentos C e D tenham recebido mais água que a prevista devido à contribuição das parcelas mais úmidas através de infiltração lateral. Esta hipótese é reforçada pelos altos Coeficientes de Variação, 35,6 e 21,7% correspondentes aos Tratamentos C e D, respectivamente.

A média do conteúdo de açúcar na uva dos diferentes tratamentos é apresentada na Tabela 4. Não observou-se diferença significativa entre os tratamentos. Com os dados de amostragem de umidade do solo e irrigações efetuou-se um balanço hidrológico com a finalidade de obter dados de evapotranspiração nos diferentes tratamentos de umidade. Na Tabela 5 apresentam-se os dados médios de evapotranspiração, lâmina líquida e volume líquido para o ciclo de 120 dias da videira. A evapotranspiração do tratamento mais úmido foi de 6,1mm dia⁻¹, correspondendo à média para o ciclo. Com uma média de 6,1mm dia⁻¹ de evapotranspiração se precisaria de 732mm de água no ciclo de 120 dias o que corresponderia à aplicação de 7.320m³ ha⁻¹ com um 100% de eficiência.

A evaporação média medida no tanque para os meses de Abril a Julho, período correspondente ao experimento é de 9,625mm dia⁻¹. Utilizando esta informação obtém-se que o coeficiente médio da videira neste período é de $6,1/9,625 = 0,63$ ou em outras palavras a evapotranspiração da videira é de 63% da evaporação medida no tanque. Em forma similar obtém-se coeficientes de 0,34 para o tratamento B, 0,28 para o tratamento C e 0,21 para o tratamento D.

Tabela 5. Dados médios de evapotranspiração, lâmina líquida e volume líquido no ciclo de 120 dias da videira

Tratamentos	Evapotranspiração Média no Ciclo (mm dia ⁻¹)	Lâmina Líquida no Ciclo de 120 dias (mm)	Volume Líquido no Ciclo de 120 dias (m ³ Ha ⁻¹)	Nº de Irrigações no Ciclo
A (1,55 Atm)	6,10	732,00	7.320,00	11
B (2,75 Atm)	3,30	396,00	3.960,00	6
C (3,95 Atm)	2,70	324,00	3.240,00	4
D (5,15 Atm)	2,00	240,00	2.400,00	2

Na região do Sub-Médio São Francisco tem-se recorrido com muita freqüência ao uso de fórmulas empíricas por carecer de informação obtida em culturas (6). De todas as fórmulas empíricas disponíveis a de Garcia-Lopes (3) e Blaney-Morin (1) são as que dão valores mais perto dos obtidos no tratamento mais úmido que corresponderia a evapotranspiração potencial. Para o período Abril-Junho a fórmula de Garcia-Lopez dá uma evapotranspiração de 6,1mm dia⁻¹ enquanto que Blaney-Morin dá 6,4mm dia⁻¹. Ambas as fórmulas utilizam umidade relativa e temperatura do ar com os parâmetros climáticos indicadores da evaporação.

LITERATURA CITADA

- 1 — CHANG, JEN-HU. 1968. Climate and Agriculture. An ecological survey. Chicago, Aldine Publishing Company. 304 p.
- 2 — FAO/PNUD. 1971. Estudios de Irrigación e Ingenieria. Estudios de la Cuenca del Rio São Francisco (Segunda Etapa). Roma FAO/PNUD. 301 p. (Informe Técnico 4, AGL:SF/BRA 19).

- 3 — GARCIA BENAVIDES, J. y JAVIER LOPEZ DIAZ. 1970. Fórmula para el cálculo de la evapotranspiración potencial adaptada al trópico (15° N-15°S). *Agronomia Tropical (Venezuela)* 20(5):333-345.
- 4 — POSSIDIO, EDSON LUSTOSA DE, 1971. Videira (No Sub-Médio São Francisco). Petrolina, PE, MINTER/IICA 36 p. (Documento de Ensino).
- 5 — QUEIROZ FILHO, S.C. de, A.A. MILLAR e M. BOERS. 1975. Características de infiltração dos vertissolos do Sub-Médio São Francisco. (A ser apresentado no XV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Julho 1976).
- 6 — SIMÕES, A.J. 1973. Determinação da evapotranspiração potencial e necessidade de água de irrigação para o Projeto do Mandacaru. Petrolina, PE., MINTER/IICA. 19 p. (Mimeografado, sendo publicado no Boletim de Recursos Naturais da SUDENE/DRN).
- 7 — SOUZA, J.S. INGLEZ DE. 1969. Uvas para o Brasil. São Paulo, Edições Melhoramentos. 454 p.

IRRIGAÇÃO POR INUNDAÇÃO PERMANENTE E PERIÓDICA NA CULTURA DO ARROZ (*Oryza sativa* L.)

José Furtado da Silva *
José Tavares de Araújo **

1 – INTRODUÇÃO

A cultura do arroz em projetos de irrigação do Nordeste brasileiro, vem se desenvolvendo plenamente, por se tratar de uma cultura de alto rendimento econômico e de fácil comercialização. Todavia, as práticas culturais deverão ser melhoradas, principalmente aquelas relacionadas com o manejo racional da água de irrigação.

A cultura de arroz sob irrigação é a mais garantida com relação a produção, e os rendimentos em quilos de arroz em casca por hectare são superiores daqueles obtidos nas culturas de sequeiro, dependentes das chuvas. No Brasil e no estrangeiro os técnicos discutem as vantagens e desvantagens nos métodos de irrigação por inundação permanente e periódicas ou intermitente.

DUARTE e COSTA (2) em trabalho com variedades de arroz e modalidade de irrigação por inundação permanente e intermitente, em solo hidromórfico, na baixada Fluminense, Estado do Rio de Janeiro, verificaram que as diferenças de produção registradas entre as modalidades de irrigação estudadas não foram estatisticamente significativas, sendo indiferente o emprego desses processos de manejo da água; evidentemente, os rizicultores que dispuserem do líquido por gravidade, nas lavouras, devem optar pelo sistema contínuo ou permanente de irrigação, enquanto que aqueles que dependerem de bombeamento, usarão, por certo, o processo intermitente ou periódico, visto que poderão economizar combustíveis, lubrificantes, mão-de-obra, e, aproximadamente, 20% de água.

Segundo as observações desses autores, a modalidade de irrigação por inundação intermitente, fez decrescer a percentagem de nitrogênio no solo, bem como de teores de cálcio + magnésio, todavia, parece que a mesma não interferiu no pH nem tampouco nos teores de carbono, alumínio, fósforo e potássio.

MIRANDA e SCUZA (4) indicam o sistema de inundação permanente para a cultura do arroz, isto é, a irrigação só será iniciada quando a altura das plantas permitir a inundação, sem que o arroz fique abafado pela água. A introdução da água nas quadras deve ser feita lentamente, a fim de não estragar o terreno e não arrancar as plantas novas. Submersa a quadra, no lado oposto ao da entrada, abre-se no dique, uma passagem que, possibilite a saída do excesso, permita manter o terreno coberto por uma camada de água, a menor possível, em torno de 10 a 15 centímetros.

BULANADI e outros (1), nas Filipinas, evidenciaram que a irrigação intermitente proporcionou rendimentos mais elevados à cultura do arroz do que o processo contínuo ou permanente.

Empregando o sistema de irrigação permanente nas diferentes épocas após a emergência das plantas, DUARTE (3), na Baixada Fluminense, concluiu que as diferentes épocas de início de irrigação estudadas, diferenciaram-se estatisticamente em dois grupos, destacando-se em primeiro lugar, as seguintes: 30, 20 e logo depois da germinação; em segundo, 10 e 40 dias após a emergência das plantas.

O presente trabalho tem por objetivo fundamental estudar o comportamento da cultura do arroz, submetido a irrigação periódica e diferentes alturas de lâmina d'água com irrigação contínua ou permanente.

2 – MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no campo experimental do perímetro irrigado de São Gonçalo, Sousa-Paraba, em solo de aluvião de textura leve. A amostra composta do solo na área experimental, apresentou as seguintes características químicas e físicas:

pH	7,4
K+	0,52 e.mg por 100g de solo
Ca++	8,40 e.mg por 100g de solo
Mg++	3,29 e.mg por 100g de solo
H+ + Al++	0,82 e.mg por 100g de solo
P2O5	0,98 e.mg por 100g de solo

* Engenheiro Agrônomo M. S. — Chefe do Serviço de Experimentação da 3ª Diretoria Regional, DNOCS, Recife, PE.

** Engenheiro Agrônomo — Chefe do Serviço de Exploração do Perímetro Irrigado de São Gonçalo, Souza, PB.

N.	0,07%
C.	0,72%
Argila	13,00%
Limo.	11,20%
Areia fina.	7,40%
Massa esp. ap.	1,52%
Umidade eq.	18,50%
Ponto de murchamento	7,00%
Água disponível	11,50%

O delineamento empregado foi o de blocos ao acaso, com 6 repetições, os tratamentos usados foram os seguintes:

- irrigação por submersão periódica, conservando-se o solo completamente saturado;
- irrigação por inundação permanente, com uma lâmina de água de 5 cm;
- irrigação por inundação permanente, com lâmina de 10 cm;
- irrigação por inundação permanente, com lâmina de 15 cm;
- irrigação por inundação permanente, com lâmina de 20 cm.

O ensaio foi iniciado em setembro de 1970, usando-se a variedade dourado agulha. A semeadura foi realizada manualmente em linhas contínuas, empregando-se 80g de sementes por metro linear de sulcos.

As parcelas foram constituídas de 8 linhas de 4m, espaçadas de 0,40m com 2 linhas marginais e 6 linhas úteis, com uma área útil de 9,6m². As marachas tiveram o solo convenientemente nivelado, para facilitar a uniformidade da lâmina d'água durante os trabalhos de irrigação. As entradas e saídas de água foram instaladas em alturas convenientes, para permitir uma eficiente circulação do lençol d'água dentro das marachas.

As lâminas d'água nas irrigações por inundação ou contínua, foram controladas 30 dias após a germinação, conforme indicação de DUARTE (3).

A cultura recebeu uma adubação básica, correspondente a 400 Kg de sulfato de amônio, 350 Kg de superfosfato simples, sulfato de potássio e 1/2 da dose de sulfato de amônio foram aplicados antes da semeadura no fundo do sulco. A dosagem restante do sulfato de amônio foi aplicada 40 dias após a germinação.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados referentes a produção de grãos com casca em t/ha, foram analisados estatisticamente conforme podemos observar no QUADRO 1. As características estudadas na cultura foram: altura do colmo em cm e tamanho das panículas em cm, cujas análises de variância são apresentadas nos QUADROS 2 e 3.

QUADRO 1 – Análise da variância do peso de arroz em t/ha

Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Blocos	5	5,07	1,01	2,80
Tratamentos	4	3,28	0,82	2,27
Resíduos	20	7,33	0,36	
	29	15,68		

C.V. = 13%

$\bar{X}$ = 4,50 t/ha

s = 0,6 t/ha

Médias dos tratamentos em t/ha de arroz em casca

TRATAMENTOS	PRODUÇÃO (t/ha)
— Lâmina d'água com 20 cm	4,04
— Solo saturado	4,13
— Lâmina d'água com 5 cm	4,74
— Lâmina d'água com 10 cm	4,74
— Lâmina d'água com 155 cm	4,82

QUADRO 2 – Análise de variância para altura do colmo em cm

Causa de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Blocos	5	399	79.8	2.23
Tratamentos	4	338	84.5	2.36
Resíduos	20	716	35.8	

C.V. = 4,5%

 $\bar{X}$ = 133 cm

S = 6 cm

Médias dos tratamentos em cm

TRATAMENTOS	Altura do colono (cm)
– Solo saturado	127
– Lâmina d'água com 20 cm	123
– Lâmina d'água com 5 cm	134
– Lâmina d'água com 10 cm	135
– Lâmina d'água com 15 cm	137

QUADRO 3 – Análise de variância para o comprimento das panículas em cm

Causa de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Blocos	5	18	3,60	0,48
Tratamentos	4	28	7,00	0,95
Resíduos	20	147	7,35	
Total	29	193		

C.V. = 14%

 $\bar{X}$ = 19 cm

S = 2,7 cm

Comprimento médio das panículas em cm

TRATAMENTOS	Comprimento (cm)
– Solo saturado	17,8
– Lâmina d'água com 10 cm	19,0
– Lâmina d'água com 15 cm	19,5
– Lâmina d'água com 5 cm	19,7
– Lâmina d'água com 20 cm	20,7

Observando-se os resultados das análises estatísticas com relação a produção, altura do colmo e comprimento das panículas QUADROS 1, 2 e 3, verifica-se que nas modalidades de manejo de água estudadas, os tratamentos tiveram comportamento distinto. Estes resultados são concordantes com os obtidos por DUARTE e COSTA (2) em que modalidades de irrigação por inundação permanente e intermitente, não apresentaram diferenças significativas no que diz respeito a produção, sendo indiferente o emprego desses processos de manejo de água.

A análise de variância apresentada no QUADRO 1 indica não haver diferença significativa na produção de grãos de arroz com casca em t/ha, embora tenha ocorrido um acréscimo de produção de 17 e 19%, nos tratamentos com irrigação por inundação, com lâminas d'água de 5 cm, 10 cm e 15 cm em relação aos tratamentos saturados e com lâminas d'água de 20 cm.

Ainda que, sem significação estatística, ficou constatado que a necessidade de capinas decresce quando a cultura é irrigada por inundação permanente. As parcelas mantidas apenas úmidas, receberam 5 capinas durante o ciclo da cultura, enquanto que as parcelas mantidas inundadas, foram cultivadas 2 vezes antes de serem submetidas à irrigação.

4 – CONCLUSÕES

Os resultados obtidos, no experimento, aqui descrito e discutido, com base nos métodos aplicados e nas condições locais de campo do perímetro de irrigação de São Gonçalo, permitiram as conclusões que vem a seguir:

- a) o experimento não conseguiu comprovar estatisticamente o efeito dos métodos de irrigação, com variações de lâminas d'água na cultura do arroz, permitindo, afirmar-se que, é indiferente o emprego desses processos de manejo da água.
- b) a modalidade de irrigação por inundação permanente, fez decrescer de 5 para 2 o número de capinas na cultura do arroz, sendo insignificante o aumento de água de irrigação, evidentemente os produtores devem optar pelo referido sistema, visto que poderão economizar mão-de-obra.
- c) as modalidades de irrigação estudadas não tiveram nenhuma influência no acamamento e no estado sanitário do arroz.

5 – RESUMO

No presente trabalho são relatados os resultados de um experimento realizado no perímetro irrigado São Gonçalo, Sousa—Parafba, em solo de aluvião de textura leve, com o objetivo de estudar o comportamento produtivo da cultura do arroz, empregando-se as modalidades de irrigação por inundação permanente e periódica.

O delineamento empregado foi o de blocos ao acaso, com 5 tratamentos e 6 repetições. Os tratamentos envolvidos foram os seguintes: a) solo conservado sempre saturado; b) lâmina d'água com 5 cm; c) lâmina d'água com 10 cm; d) lâmina d'água com 15 cm e e) lâmina d'água com 20 cm.

Completado o ciclo vegetativo, foram obtidos e analisados estatisticamente os dados referentes a produção de grãos com casca em t/ha, altura de colmo em cm e comprimento da panícula em cm.

As diferenças de produção, altura do colmo e comprimento da panícula registradas entre as modalidades de irrigação estudadas não foram estatisticamente significativas.

O sistema de irrigação por inundação permanente fez decrescer de 5 para 2 o número de capinas na cultura de arroz.

As modalidades de irrigação estudadas não influenciaram no acamamento e no estado sanitário do arroz.

6 – BIBLIOGRAFIA

- 1 – BULANADI, J., ALDABA, P.B. e RODRIGUES, V.C. Theree years of irrigation research in the Maligaya Experiment Station. J. Soil. Soc., Philippines, 11 (1): 25-37. 1959.
- 2 – DUARTE, E.F. e COSTA, F.A. Estudos das modalidades de irrigação por inundação contfua ou permanente e periódica ou intermitente com nove cultivadores de arroz (*Oryza sativa*), na Baixada Fluminense. Pesq. agropec. bras., sér. agron., 6: 253-264. 1971.
- 3 – DUARTE, E.F. Estudo de épocas de início da irrigação com cinco variedades de arroz (*Oryza sativa* L.), na Baixada Fluminense. Pesq. agropec. bras. 4:39-45. 1969.
- 4 – MIRANDA, H.S. e SOUZA, D.M. Instruções para a cultura do arroz I.A.C. — Campinas. S.P. 16 p. 1964.

GRUPO II TECNOLOGIA

**TEMA IV
TECNOLOGIA
GRUPO 2**

PRESIDENTE
MARCOS BARTH

SECRETÁRIO
RICARDO PONTIERS AUGUSTO

RELATOR
MARDÔNIO AGUIAR COELHO

**TEMA IV – TECNOLOGIA
GRUPO 2**

1 - USO DE DESTILADORES SOLARES NO NORDESTE BRASILEIRO.
– CLEANTHO DA CÂMARA TORRES
– SEVERINO RODRIGUES DE ARAÚJO

2 - APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR NO BOMBEAMENTO D'ÁGUA
– RICARDO PONTIERI AUGUSTO

3 - SALINIDAD EM LOS PERIMETROS IRRIGADOS DEL NORDESTE DE BRASIL.
– FERNANDO PIZARRO

4 - METODOLOGIA PARA ACOMPANHAMENTO DA EVOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE SAIS EM ÁREAS IRRIGADAS
– TÂNIA A. DOS SANTOS ABREU.
– A.A. MILLAR
– JOSÉ RIBAMAR PEREIRA

5 - RESSALINIZAÇÃO – UM PROBLEMA DECISIVO NO MELHORAMENTO DE SOLOS SALINOS PARA IRRIGAÇÃO.
– H. R. LENTHE

6 - POSSIBILIDADES DO USO DE ÁGUA SALINA NA RECUPERAÇÃO DE SOLOS SÓDICOS DO PERÍMETRO IRRIGADO DE SÃO GONÇALO.
– ZÉLIA MARIA RODRIGUES PEREIRA

7 - EFEITO DE DIFERENTES NÍVEIS DE GESSO NA CORREÇÃO DE SOLOS SALINOS - SÓDICOS DO PERÍMETRO IRRIGADO DO POÇO DA CRUZ.
– EDILSON PEREIRA
– JOSÉ FURTADO DA SILVA

8 - CONTRIBUIÇÃO AO MELHORAMENTO DOS SOLOS SALINOS DO PROJETO DE IRRIGAÇÃO. CACHOEIRA II
– GERALDO WANDERLEY

9 - PERDAS POR INFILTRAÇÃO NO CANAL ADUTOR DO SISTEMA MORADA NOVA.
– LUIZ HERNANI DE CARVALHO
– MARIO BORGES MAMEDE NETO

10 - REDES DE RIEGO CONSTRUIDAS CON ACEQUIAS PREFABRICADAS DE SECCION SEMICIRCULAR.
– MARIANO MARAVER LOPEZ DEL VALLE.

11 - IMPERMEABILIZAÇÃO DE CANAIS DE TERRA COM SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS PARA FINS DE IRRIGAÇÃO.
– ANTONIO ERMANO INTERAMINSE
– BLANOR TORRES LOUREIRO
– JUAREZ DE SOUSA E SILVA
– TELMO CARVALHO ALVES DA SILVA

- 12 - REVISTIMENTO DE CANALES CON MATERIALES NO TRADICIONALES.
– RAUL RICARDO GALLARDO
- 13 - USO DE BENTONITA NO CONTROLE DAS PERDAS POR FILTRAÇÃO EM CANAIS DE IRRIGAÇÃO.
– AGUSTIM A. MILLAR
– MAARTEN BOERS.
- 14 - RENDIMENTO HIDROLÓGICO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS E A INFLUÊNCIA DOS RESERVATÓRIOS DE ESTIAGEM COMO FATOR DE PERDA DE ÁGUA.
– THEOPHILO B. OTTONI NETTO.
- 15 - EMPREGO DE SIFÕES PARA TOMADA D'ÁGUA EM CANAIS DE IRRIGAÇÃO
– GUILHERME LUIZ FRIGER.
- 16 - PARÂMETROS PARA IRRIGAÇÃO POR SULCOS DOS VERTISSOLOS DO SUB-MÉDIO SÃO FRANCISCO.
– SEVERINO C. QUEIROZ FILHO
– AGUSTIN A. MILLAR.
- 17 - CARACTERÍSTICAS DA INFILTRAÇÃO EM SULCOS ABERTOS E FECHADOS.
– HAMILTON M. DE AZEVEDO.
– AGUSTIN A. MILLAR
– HUGO O. CARVALHO.
- 18 - DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA NÃO SATURADA, BASEADA NA CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA DO SOLO.
– HUGO O. CARVALHO.
– HAMILTON M. DE AZEVEDO
- 19 - IMPLICAÇÕES AGRONÔMICAS DO EFEITO DA UMIDADE INICIAL SOBRE A CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO DO SOLO.
– HAMILTON M. DE AZEVEDO.
– AGUSTIN A. MILLAR
– HUGO O. CARVALHO.
- 20 - TESTE DE FURO DE TRADO EM AUSÊNCIA DE LENÇOL.
– MANUEL DE JESUS BATISTA.
- 21 - TESTE DE INFILTRAÇÃO POR PERMEÂMETRO DE ANEL.
– MANUEL DE JESUS BATISTA
- 22 - SIMPLIFICAÇÃO AO CÁLCULO DA CUBAÇÃO E QUADRATURA DE TALUDES EM CORTES E ATERROS PARA CANAIS DE IRRIGAÇÃO.
– JOÃO BENÍCIO FILHO.
- 23 - MATERIALES DE DRENAGE SUBTERRÂNEO: TEORIA, PRACTICA; Y CRITERIOS DE ELECCION.
– FERNANDO PIZARRO
- 24 - IRRIGAÇÃO COLETIVA POR ASPERSÃO A PARTIR DE POÇOS: PROBLEMAS E SOLUÇÕES
– PEDRO GAYTAN DE AYALA
- 25 - SISTEMATIZAÇÃO SIMPLES: UMA METODOLOGIA PRÁTICA E ECONÔMICA DE IRRIGAÇÃO PARCELAR.
– JOSÉ DULÁ NAVARRETE
– AVELINO COSTALONGA
- 26 - O EMPREGO DA AEROFOTOGRAMETRIA E DA FOTOINTERPRETAÇÃO NA DIAGNOSE DE UMA ÁREA IRRIGÁVEL NO BAIXO RIO PARDO - S. PAULO
– RUBENS JORGE ROSTON
– SERGIO WILSON EBERLEIN
– RAINÉRIO JOEL DE JESUS FERNANDES
- 27 - TESTES DE HERBICIDAS EM CANAIS DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO DO ARROIO DURO.
– EDGAR JOSÉ HERRLEIN
– FLÁVIO LUIZ N. GARCIA
- 28 - PROJETOS CAMAQUÃ.

- MARCOS BARTH
- ARTUR BARRIONUEVO

29 - DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA IRRIGAÇÃO DOS PRINCIPAIS AÇUDES DO NORDESTE BRASILEIRO

- MANFREDO CÁSSIO DE AGUIAR BORGES.

30 - MANUAL DE INSTALAÇÃO DE TUBOS DE CONCRETO

- ARIOSTTO FARIAS JR.

31 - UNA TECNICA ESPECIAL PARA LA RECUPERATION DE LAGUNAS

- FERNANDO PIZARRO

32 - REDE DE ESTAÇÕES TELEMÉTRICAS NA BACIA DO ALTO RIO PARAGUAI - MATO GROSSO.

- DNOS/UNESCO

33 - APROVEITAMENTO DE ÁREAS ALUVIAIS ÚMIDAS DO NORDESTE ORIENTAL.

- MANUEL BATISTA DE MELO

34 - CONSTRUCCION DE DEFENSAS CONTRA EROSION FLUVIAL.

- RAUL RICARDO GALLARDO

USO DE DESTILADORES SOLARES NO NORDESTE BRASILEIRO

Cleantho da Câmara Tôrres *
Severino Rodrigues de Araújo **

1 — O problema da água potável

As reservas de combustíveis fósseis preocupam, nos dias atuais, todo o mundo civilizado; no entanto um outro problema de conseqüências talvez mais graves para o futuro da humanidade vem sendo relegado a plano inferior: o da exaustão de recursos de água potável. É verdade que algumas nações vêm se preocupando com o problema há vários anos sem que no entanto o tema consiga chegar ao grande público, ultrapassando o restrito mundo dos especialistas.

Face a imperativas necessidade locais, países como Israel, Grécia, Austrália, Tunísia e Argélia vêm realizando sérios esforços de otimização dos métodos de aproveitamento dos recursos hídricos existentes e das reservas de água salobra e salgada.

Vastas regiões do Nordeste sofrem ciclicamente de escassez de água potável, e o problema tenderá evidentemente a se agravar nos próximos anos, se não forem tomadas medidas efetivas para um melhor aproveitamento das reservas hídricas. O presente trabalho é uma contribuição ao exame do problema, sob novo enfoque.

A nosso ver deve ser iniciado o estudo da possibilidade de aproveitamento, numa primeira fase, da água salobra proveniente de poços profundos ou de lençóis superficiais.

Segundo Halbfass a quantidade total de água existente na Terra é da ordem de $1,3 \times 10^{18} \text{ m}^3$, o que corresponde a uma camada de 2,6 Km de profundidade cobrindo de maneira uniforme todo o globo.

De acordo com Humphreys, a água total contida na atmosfera monta apenas a $12,8 \times 10^{12} \text{ m}^3$ o que significaria uma capa de 2,5 cm se fosse distribuída uniformemente na superfície do planeta.

Embora a água seja vital sob os pontos de vista biológico, físico e químico, geologicamente falando as reservas são extremamente limitadas uma vez que a massa dos oceanos representa 0,00022 da massa da Terra.

Observada do espaço, a grande distância, a água existente no globo terrestre seria considerada, quando muito, uma "impureza" de valor quase desprezível.

Os oceanos representam 97,5% da massa total de água enquanto que os restantes 2,5% ficam reservados para os gelos polares e as águas continentais. Segundo Wegmann, os gelos representam 98,48% das reservas de água doce e salobra.

Resta, assim, muito pouco para as águas continentais, das quais apenas uma parte é potável.

A precipitação anual média é da ordem de 845 mm da qual 10 a 15% se infiltra, 20 a 25% escorre e o restante evapora.

Ao fato da precipitação pluviométrica total do globo ser relativamente pequena, acresce sua desigual distribuição; cerca de 60% das terras emersas apresentam hoje uma precipitação insuficiente.

Para o fim do século, organismos especializados prevêm um consumo de $2.600 \text{ m}^3/\text{hab/ano}$ para os americanos e $1.600 \text{ m}^3/\text{hab/ano}$ para os franceses. Tomando um valor intermediário de $2.000 \text{ m}^3/\text{hab/ano}$ chega-se à conclusão que o consumo humano deverá atingir $12 \times 10^{12} \text{ m}^3$, num total de $60 \times 10^{12} \text{ m}^3$ postos em movimento pelo ciclo da água.

De acordo com René Colas, destes $60 \times 10^{12} \text{ m}^3$ apenas 30×10^{12} podem ser considerados disponíveis; isto significa que no ano 2000 praticamente 50% dos recursos hídricos serão destinados ao consumo humano.

Seguindo a mesma linha de raciocínio e levando em conta as previsões de aumento demográfico, no ano 2.050 as necessidades humanas de água potável corresponderão exatamente à totalidade de recursos disponíveis. É

* Supervisor do Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal da Paraíba; Membro do Comitê Executivo da "Asociación Latino-Americana de Energia Solar"

** Universidade Federal da Paraíba.

fácil prever o que acontecerá daí por diante: a fome, circunscrita a determinadas áreas, se generalizará por toda a face da Terra.

O quadro, que parece elaborado com tintas negras, já se configura em extensas áreas, nas quais se acelera o processo de desertificação.

Bem antes do ano 2050 a humanidade será impelida a dessalinizar as reservas de água salobra e a água do mar, com gravíssima sobrecarga no consumo energético.

O custo da água dessalinizada poderá ocupar não o primeiro, mas o segundo ou mesmo o terceiro lugar na escala de prioridades.

2 — Uso da energia solar para obtenção da água potável

A energia solar se apresenta sob a forma de energia radiante, cuja potência máxima de radiação ao nível do solo é cerca de $1,2 \text{ KW/m}^2$. Pode ser utilizada na obtenção da água potável, seja através de coletores de planos, ou com dispositivos de concentração.

O destilador solar do tipo convencional funciona a “efeito de estufa” e é realmente muito simples: cobertura de vidro ou plástico, de um ou dois pendentes, sobre depósito de água salgada ou salobre, com fundo negro. A radiação solar atravessa o painel transparente, aquece a água, que vaporiza, sobe, atinge a face interna do painel transparente, condensa, escorre e é recolhida em calhas colocadas lateralmente.

Na realidade, obtém-se apenas 5 a 6 litros por m^2 por dia, de água destilada.

Pretendemos aqui analisar em profundidade o problema da utilização da energia solar na produção de água potável no Nordeste brasileiro fazendo, de início, um retrospecto das pesquisas que vêm sendo desde muito realizadas noutras áreas; detalharemos a seguir os trabalhos que se vêm realizando no Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal da Paraíba, com recursos do BNDE e da FINEP.

2.1 — Panorama das pesquisas no mundo:

Em 1870 um engenheiro inglês no Chile, Charles Wilson, defrontando-se com problemas do abastecimento da água potável a uma comunidade, Las Salinas, e dispondo de água cuja salinidade era de 140 g/l isto é 4 vezes superior à da água do mar, construiu destiladores solares a efeito estufa, com cerca de 4.100 m^2 de superfície e produzindo 20.000 litros de água potável por dia. O tipo de atividades, a exploração de minérios de alta rentabilidade, cobria o alto custo da manutenção. Só em 1908, quando uma estrada de ferro atingiu a localidade, é que a instalação foi desmontada. O caráter pioneiro e as dimensões da empreitada, ainda hoje causam espanto aos especialistas.

Ainda em 1870 N.N.W. Wheeler e W.W. Evans obtiveram uma patente para um dispositivo que funcionava a efeito de estufa.

Em 1925 um concurso aberto pelo governo francês levou à formação das primeiras equipes de pesquisadores. Em 1929 Ginestous criou em Ben Gardane, na Tunísia, um grupo de 30 destiladores de $1,00 \text{ m}^2$. Em 1933, Tekuchev obteve os primeiros protótipos russos.

Nos E.E.U.U., a 2ª Guerra Mundial levou à obtenção de vários dispositivos da destilação da água do mar, mas só após 1952 começaram esforços ponderáveis com a criação do “Office of Saline Water” e os trabalhos de Everett Howe na Universidade da Califórnia.

Após 1952 as pesquisas se generalizaram com Trombe na França, Nebbia na Itália, Wilson na Austrália, Blanco e Gomella na Espanha e Datta na Índia Frick e Hirschmann no Chile etc.

Posteriormente surgiu o emprego de material plástico (teflon, tedlar, mylar etc.) como em Daytona Beach, onde foram construídos protótipos de 45 m^2 e um destilador de 200 m^2 . Uma organização filantrópica, a Church World Service financiou a construção de destiladores solares nas ilhas gregas de Symi, com 2700 m^2 em Tedlar inflado, Salamis com 500 m^2 . Perdika, Aegine com 1500 m^2 e Santorim com 4.000 m^2 .

Foram também construídos destiladores em Patmos (8.643 m^2), Kimolos (2.509 m^2) e Nisiros (2.045 m^2) também na Grécia, Chakmou, com 440 m^2 para abastecer 500 pessoas e Mahdia (1.300 m^2) para 2.000 pessoas na

Tunísia, Las Marinas (870m²), na Espanha, Coober Pedy (3.160m²), na Austrália, Bakharden, na Turkmênia (600m²) Petit St. Vicent nas Índias Ocidentais (1.710m²) Santa Maria do Sal, na ilha de Cabo Verde (743m²) etc.

S.D. Gomkale e R.L. Datta, do Central Salt & Marino Chemicals Research Institute, de Bhavnagar na Índia, chegaram a construir 350m² de destiladores que produziram uma média de 1.000 l/dia de água destilada. A planta foi projetada para coletar, também água de chuva.

Os estudos pretendiam o fornecimento de água de beber a comunidades isoladas nos estados áridos de Rajasthan e Gujarat, bem como a salinas, faróis, ilhas isoladas etc.

A implantação em larga escala foi impossibilitada pelo alto custo inicial das instalações. As pesquisas mostraram que o custo da água obtida por destiladores solares era de aproximadamente 50% da água transportada por caminhões-tanques.

Os estudos realizados na Índia merecem, a nosso ver, uma atenção especial dos pesquisadores brasileiros, dados às similaridades geo-econômicas do Nordeste brasileiro com as províncias de Rajasthan e Gujarat.

A Índia é um país tropical entre 8° e 37° N, sendo a radiação global média do país, medida através de 40 estações solarimétricas, da ordem de 500 cal/cm²/dia. Na região Nordeste, a precipitação anual de chuva de 150 a 400 mm. Em Bhavnagar a temperatura média é da ordem de 26,3°C, a intensidade da radiação solar é de 486 cal/cm²/dia, a umidade relativa média do vento 11 Km/hora.

Foram construídas pequenas unidades cujas áreas variavam de 0,1 a 3,21m² e cujos ângulos dos vitrais variavam de 10° a 60°.

Os primeiros protótipos utilizaram chapas metálicas pintadas de preto, no fundo da bandeja; os mais recentes, uma película de plástico preto sobre camada isolando de areia, serragem etc.

A planta piloto foi construída em 1965, sendo constituída de 10 destiladores cobrindo 350m²; as unidades tinham 16,75 metros de comprimento e larguras de 1,67 e 2,36m. A espessura da camada de água salgada era de 15 e 30 cm.

A experiência grega também deve ser levada em conta. O destilador da ilha de Symi produz 6,2 l/m²/dia no verão e apenas 0,5 l/m²/dia no inverno, dando uma média de 3,0 l/m²/dia.

Com o recolhimento da água da chuva (cerca de 2,3 l/dia para uma pluviosidade de 600mm), o destilador de Patmos atinge uma produção média diária de 5,3 l/m²; são 71 unidades distribuídas em 3 grupos com dimensões "Standard" de 3,29 m x 40 m e superfície útil total de 8.667 m².

2.3 -- As pesquisas no Brasil

As pesquisas em destilação solar no Brasil começaram no Instituto Tecnológico da Aeronáutica com recursos do BNDE, tendo sido ali projetados e construídos dois pequenos protótipos. Posteriormente (1973) passaram ao Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal da Paraíba. Também com recursos do BNDE foram construídos, numa primeira fase, quatro módulos de 2,00 m² cada um, do tipo bandeja, com cobertura em vidro, alimentação contínua, ângulo de inclinação dos vitrais de 25°, fundo em cimentado preto. Os protótipos desde o início, apresentaram problemas de vedação só resolvidos com modificação total do sistema.

Já com recursos da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), foi iniciada uma nova fase, muito mais ampla, (Fevereiro de 1975) que contou com a assessoria do prof. Everett Howe, da Universidade da Califórnia.

O prof. Howe orientou um protótipo básico de um módulo, tipo bandeja, denominado DS-11, enquadrado dentro da filosofia das pesquisas desenvolvidas na Universidade da Califórnia e na Austrália relativas a destiladores de grande porte. Foram utilizados materiais de fácil aquisição entre eles, "kalhetas" da Brasilit.

Com a principal finalidade de testar isolantes térmicos sob a bandeja, foram construídos mais três protótipos: o DS-13, 14 e 15, todos em "kalheta".

Quanto ao DS-12, foi substituído pelo DS-13, em alvenaria de tijolo.

O problema mais grave que surgiu foi o da vedação. O asfalto aplicado a quente mostrou-se inteiramente inadequado; o sika-flex demonstrou vida útil limitada, restando o silicone da Dow Corning, de procedência americana.

O destilador DS-31 representou um visível progresso sobre os anteriores, com um desempenho muito mais satisfatório.

Numa terceira fase do trabalho empreendido foram recuperados dois dos quatro protótipos iniciais, (DS-01 e 02); a alimentação, que era contínua, passou a intermitente o cimento preto do fundo foi recoberto por uma película plástica preta, o ângulo de inclinação dos vitrais foi eliminada e melhorou-se sensivelmente a vedação.

Resumimos no Quadro 1 os detalhes técnicos de todos os destiladores citados e no quadro 2 a produção média diária por unidade de área entre os meses de maio e outubro bem como a radiação global média de João Pessoa em cal/cm²/dia.

Passaremos, a seguir, a detalhar o levantamento do desempenho dos protótipos.

É sabido que a produtividade dos destiladores solares é fortemente dependente das condições diárias de insolação e radiação. Assim, foram escolhidos dois períodos distintos do ano (agosto e outubro) para a realização de alguns testes de levantamento de dados (produção e temperatura) em protótipos construídos no L.E.S.

Acham-se plotadas no Apêndice II as curvas horárias de temperatura, insolação, radiação e produção relativas ao 1º teste.

Tal como se esperava, o DS-01 (2cm de lâmina de água) atinge temperaturas mais elevadas que o DS-02 (10 cm de camada de água), embora haja um decréscimo mais acelerado com o tempo. A título de exemplo, no dia 13, 2º dia do teste, as massas líquidas da bandeja dos protótipos tiveram suas temperaturas igualadas às 17 horas (37°C). Daí em diante, houve uma reversão nas curvas, sempre ocorrendo uma superioridade térmica do DS-02, que persistiu até o dia seguinte quando as curvas, após a passagem pelo ponto de mínimo, voltavam a se elevar, acontecendo a interseção por volta das 7:30 horas (27°C).

De um modo global, pode-se delimitar faixas médias de desempenho térmico dos módulos. Chamando T₀₁ e T₀₂ as curvas de temperatura de DS-01 e DS-02, respectivamente, verificam-se certos intervalos de prioridade de um sobre o outro.

Estes dados se encontram no Quadro 3 tendo sido tomados sobre os 3 dias de teste, baseados no fato da baixa dispersão dos resultados em torno de valores médios.

No 2º teste (22 e 23 de outubro), obtivemos dados do protótipo DS-31 construído em alvenaria. Foram plotadas a temperatura ambiente, da massa líquida e da água destilada na calha de recolhimento, levantando-se também a curva de produção horária.

Em testes mais rigorosos, deve-se relacionar a temperatura com a radiação solar que atravessa a cobertura. Todavia, também é de capital importância, quando se conhece a radiação global de um determinado dia e local, verificar o comportamento da temperatura da massa líquida com o tempo. Este é o tipo de teste que estamos fazendo durante as nossas experiências. Dada às dificuldades de instalação, não foi possível medir a temperatura interna do vitral.

As temperaturas máximas para os dois dias, ocorreram aproximadamente às 13 horas, atingindo os seguintes valores:

Água da bandeja	64°C
Água da calha de recolhimento (destilada)	53°C
Diferença	11°C

Um fator que influencia negativamente a produção é a retenção da água destilada nas calhas de recolhimento, proporcionando uma redestilação. A solução seria aumentar os pontos de coleta, intercalando-os ao longo da calha. Isto evitaria o extenso caminho que o líquido teria que percorrer até os depósitos de recolhimento. O DS-31, por exemplo, com 6cm de comprimento, cuja calha tem uma inclinação de 1:200 (0,5%), apresenta visíveis áreas de empoçamento do destilado.

A produção de água destilada é o parâmetro básico na pesquisa sobre o desempenho de destiladores solares. Os módulos tipo "bandeja" produzem na faixa dos 4 a 5 litros/m² diários, faxia esta que é fortemente função das condições de radiação e insolação do local.

Foram levantadas curvas de produção versus tempo durante os dois testes no módulo DS-01, DS-02 e DS-31. Estas curvas acham-se disponíveis no Apêndice II.

Para uma análise mais correta da influência da radiação global na produção, necessita-se de, pelo menos, um ano de funcionamento do protótipo. No nosso caso isto não foi possível. Como dispomos apenas de valores em períodos distintos do ano, os dados terão que ser considerados provisórios.

Durante o 1º teste, (mês de agosto) obtivemos uma média de 2,7 litros/m² diários para uma radiação glo-

bal média incidente de 442 cal/cm^2 dia. No 2º teste (outubro) o protótipo DS-31 produziu cerca de $4,4 \text{ li-tros/m}^2$ diários nos dias de 604 cal/cm^2 para a radiação média.

Na zona semi-árida estes valores deverão sofrer substancial aumento.

Um fato também a ressaltar é a importância que assume, no desempenho global, a destilação noturna.

Antes de sugerir uma planta-piloto de grandes dimensões cabe fazer uma referência ao preço da destilação solar, caracterizada pelo elevado custo das instalações e baixo dispêndio de operação e manutenção.

O custo final é função de:

- a) custo e vida útil dos materiais
- b) processo construtivos
- c) produção por unidade de área

Preço bem mais baixo pode ser obtido pelo uso de materiais de construção mais baratos; isto pode no entanto levar a uma vida útil mais curta e uma menor produtividade.

Dois pontos parecem muito importantes: A cobertura transparente e a camada isolante térmica dos a bandeja. O Csiro MK VI australiano, teve um aumento de 15% na produtividade comparado com um protótipo idêntico porém sem isolante térmico, enquanto que a incidência do material utilizado sobre o custo total da obra foi de apenas 10%.

O preço da destilação solar, atualmente, é muito mais elevado que o obtido por processos convencionais (eletrodialise, multflash etc.). Estes métodos, contudo, exigem aparelhagem sofisticada e pessoal especializado para operação e manutenção. Os destiladores solares podem ser construídos com materiais locais e exigem pessoal não especializado. A ausência de energia elétrica não constitui entrave e quanto maior o rigor do verão, quando a água potável se torna preciosa, tanto melhor o rendimento do sistema; a solução parece ser a ideal para as sub-desenvolvidas regiões semi-áridas.

A substituição dos vitrais por películas plásticas capazes de resistir à ação da radiação ultra-violeta é uma importante meta a atingir; segundo informações recentes isto já foi conseguido pelos australianos.

Em Las Marinas, Espanha, de acordo com Gomella, um destilador de 900 m^2 custou cerca de 42500 F isto é, 47 F/m^2 , representando os vitrais 50% da despesa.

No Brasil, um destilador de grande porte dificilmente custaria menos de Cr\$ 200,00/ m^2 . Teria que ser um sistema modulado, de fácil construção, laterais em alvenaria de tijolo, fundo de plástico preto sobre areia, dimensões internas de $1,00\text{m} \times 6,00\text{m}$, tubos de PVC, alimentação intermitente. (vide apêndice III).

Um destilador de 5.000m^2 abasteceria de água potável uma pequena comunidade durante todo o ano.

A nosso ver será uma experiência válida, cujos primeiros passos para sua realização deveriam ser dados já agora.

2.3 — Perspectivas a médio e longo prazos

O primeiro destilador solar brasileiro de grande porte, cujo projeto poderá ser executado pela equipe do Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal da Paraíba poderá se transformar num grande centro de pesquisa no qual posteriormente se implantaria um sistema eólico-solar de bombeamento e mesmo, em futuro mais remoto, um sistema solar para produção de potência.

Uma outra possibilidade é a disseminação no meio rural e nas pequenas comunidades da zona semi-árida, de destiladores domésticos.

No Higett Laboratories foram testados protótipos muito eficientes de espuma de poliuretano de alta densidade, 25mm de espessura, bandeja de $743\text{mm} \times 692\text{mm}$, 10° de ângulo de inclinação do vitral com um pendente; as paredes são pintadas de um verniz branco de silicone e o fundo com silicone preto. A produção é de $3,5 \text{ l/m}^2/\text{dia}$ até $6 \text{ l/m}^2/\text{dia}$ para uma radiação global de $30 \text{ MJ/m}^2/\text{dia}$.

Os pesquisadores esperam que a vida útil do protótipo seja superior a 10 anos e que produza cerca de 750 l/ano de água destilada. A produção anual por unidade de área deverá ser 1460 litros.

Destiladores domésticos individuais ou "tamanho família" poderiam ser industrializados no Nordeste Brasileiro, onde há um mercado em potencial muito grande, sem esquecer os mercados africanos e latino-americano.

QUADRO 1

Discriminação	DS-01	DS-02	DS-11	DS-13	DS-14	DS-15	DS-31
Dimensões Internas(m)	1,00x2,00	1,00x2,00	1,18x4,5	1,18x6,00	1,18x6,00	1,18x6,00	1,00x6,00
Dimensões Externas(m)	1,21x2,16	1,21x2,16	1,94x4,5	1,94x6,00	1,94x6,00	1,94x6,00	1,52x6,32
Cobertura	Vidro	Vidro	Vidro	Vidro	Vidro	Vidro	Vidro
Laterais	Alvenaria de tijolo	Alvenaria de tijolo	Kalheta da Brasilit	Kalheta da Brasilit	Kalheta da Brasilit	Kalheta da Brasilit	Alvenaria de tijolo
Ângulo de Inclinação dos Vitrais	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°
Vedação	Silicone e Sikaflex	Silicone e Sikaflex	Asfalto(*)	Asfalto(*)	Asfalto	Asfalto	Silicone e Sikaflex
Isolamento Térmico	Concreto	Concreto	Areia(**)	Pó de Serra	Areia Fina	Areia Grossa	Areia(**)
Espessura da Camada Líquida (cm)	2,0	10,0	2,25 (média)	2,25 (média)	2,25 (média)	2,25 (média)	3,0 (média)
Término da Construção ou Recuperação	Maio/73 Ago/75	Maio/73 Ago/75	Fev/75 Ago/75	Jun/75 Ago/75	Abr/75 -	Abr/75 -	Set/75 -
Declividade das Ca - lhas (°)	1	1	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2

(*) Na recuperação do DS-13 utilizados Silicone e Sikaflex

(**) Areia será envolvida em colchão de plástico

QUADRO 2

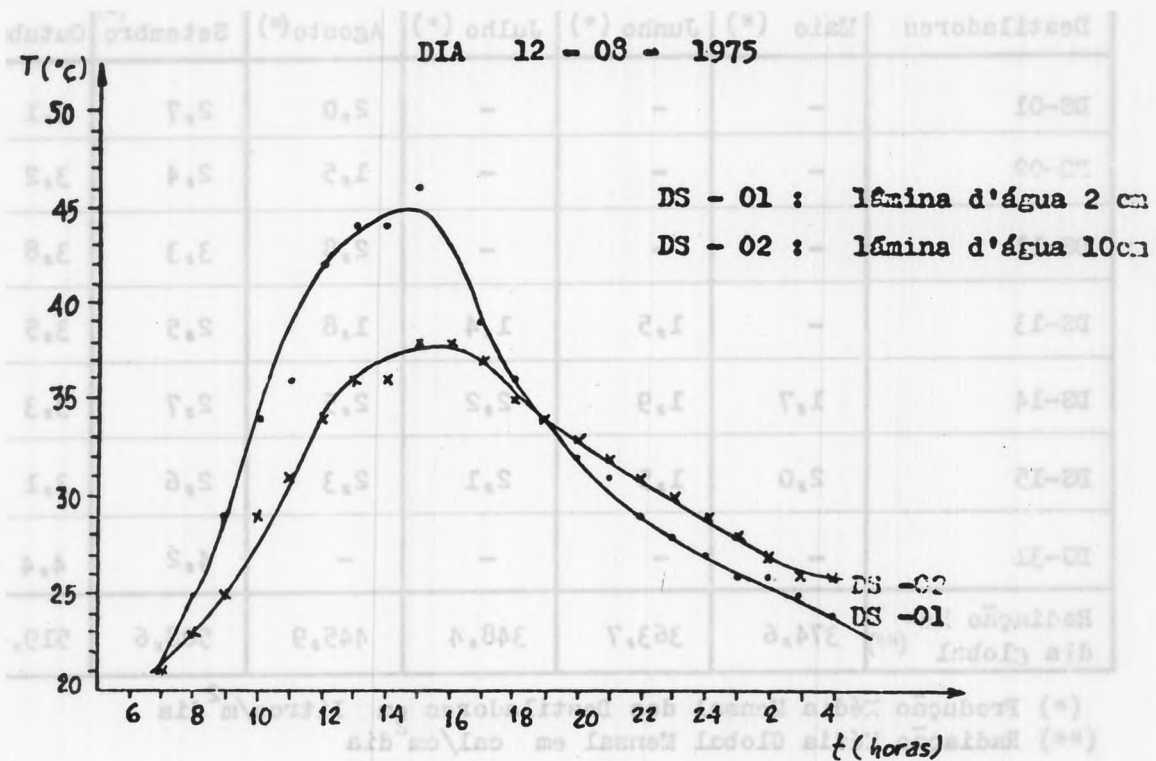
Destiladores	Maio (*)	Junho (*)	Julho (*)	Agosto(*)	Setembro ^(*)	Outubro(*)
DS-01	-	-	-	2,0	2,7	3,1
DS-02	-	-	-	1,5	2,4	3,2
DS-11	-	-	-	2,8	3,3	3,8
DS-13	-	1,5	1,4	1,8	2,5	3,5
DS-14	1,7	1,9	2,2	2,5	2,7	3,3
DS-15	2,0	1,5	2,1	2,3	2,6	3,1
DS-31	-	-	-	-	4,2	4,4
Radiação Média Global (**)	374,6	363,7	348,4	445,9	508,6	519,4

(*) Produção Média Mensal dos Destiladores em Litros/m² dia
 (**) Radiação Média Global Mensal em cal/cm² dia

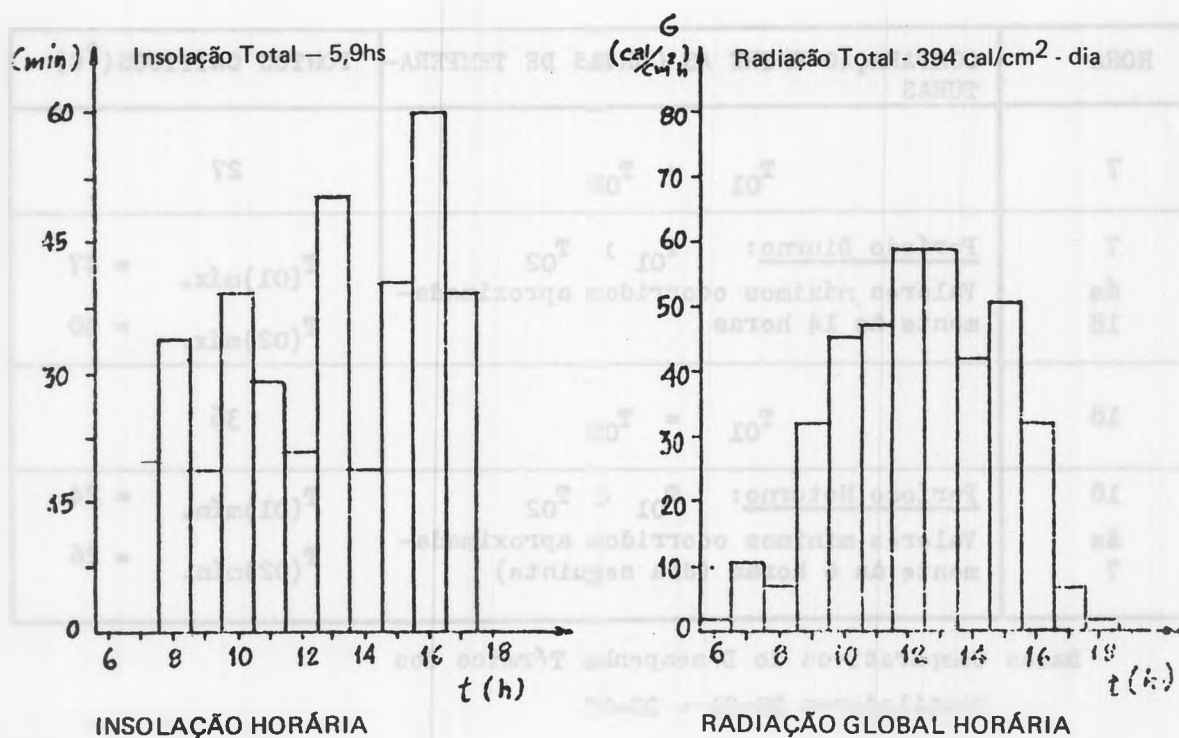
QUADRO 3

HORA	COMPARAÇÃO ENTRE AS CURVAS DE TEMPERATURAS	PONTOS CRÍTICOS(°C)
7	$T_{01} = T_{02}$	27
7 às 18	<u>Período Diurno:</u> $T_{01} > T_{02}$ Valores máximos ocorridos aproximadamente às 14 horas	$T_{(01)máx.} = 47$ $T_{(02)máx.} = 40$
18	$T_{01} = T_{02}$	36
18 às 7	<u>Período Noturno:</u> $T_{01} < T_{02}$ Valores mínimos ocorridos aproximadamente às 6 horas (dia seguinte)	$T_{(01)mín.} = 24$ $T_{(02)mín.} = 26$

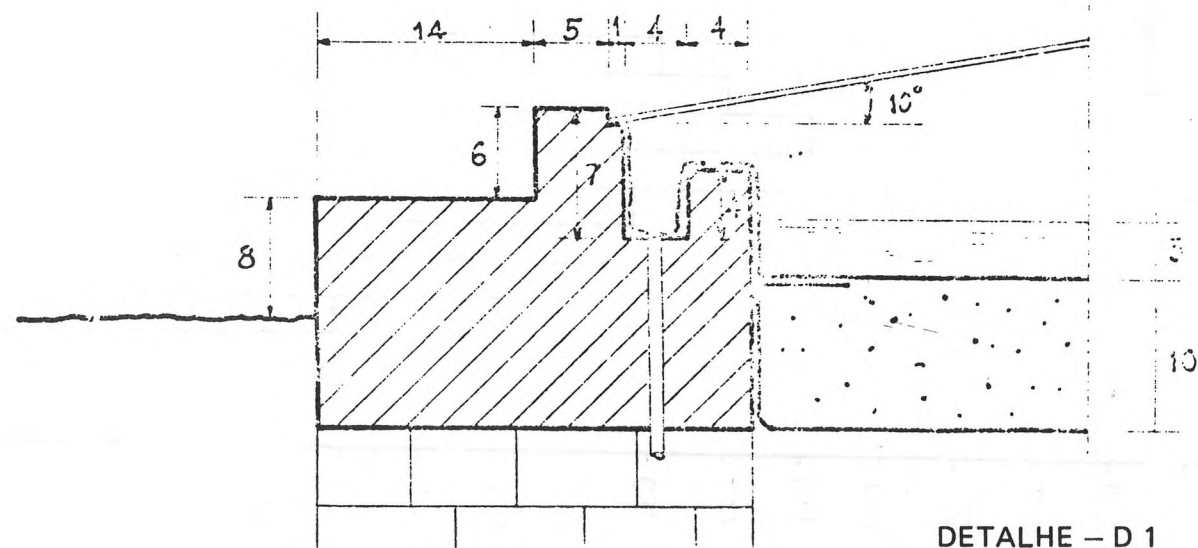
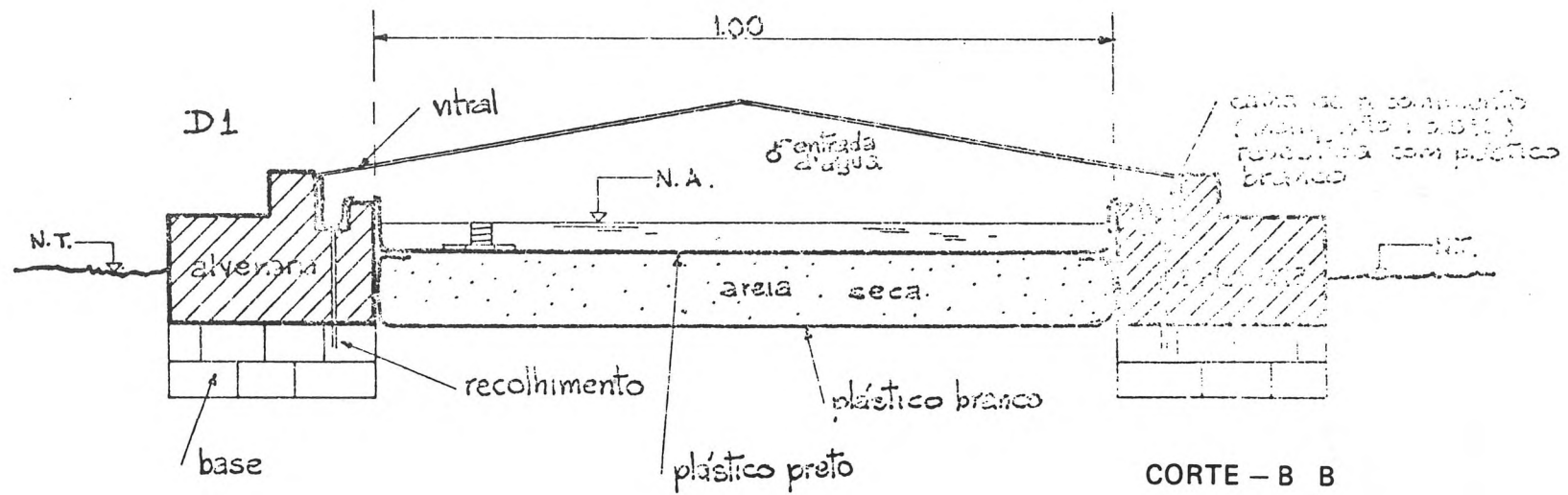
Dados Comparativos do Desempenho Técnico dos
Destiladores DS-01 e DS-02



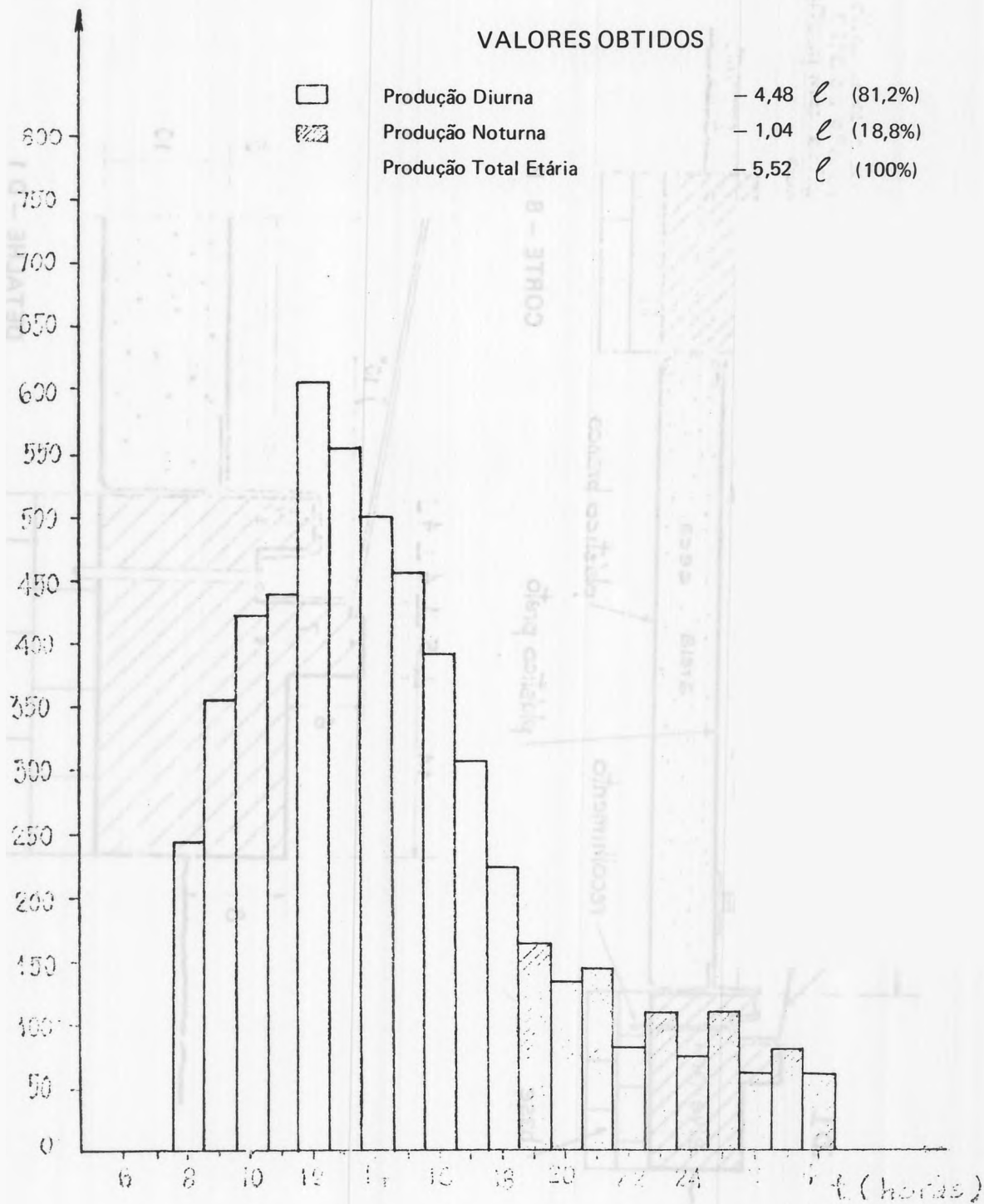
VARIAÇÃO HORÁRIA DAS TEMPERATURAS DA MASSA DE ÁGUA EM CADA MÓDULO



DESTILADOR SOLAR – D S – 31



DIA 12 - 08 - 1975

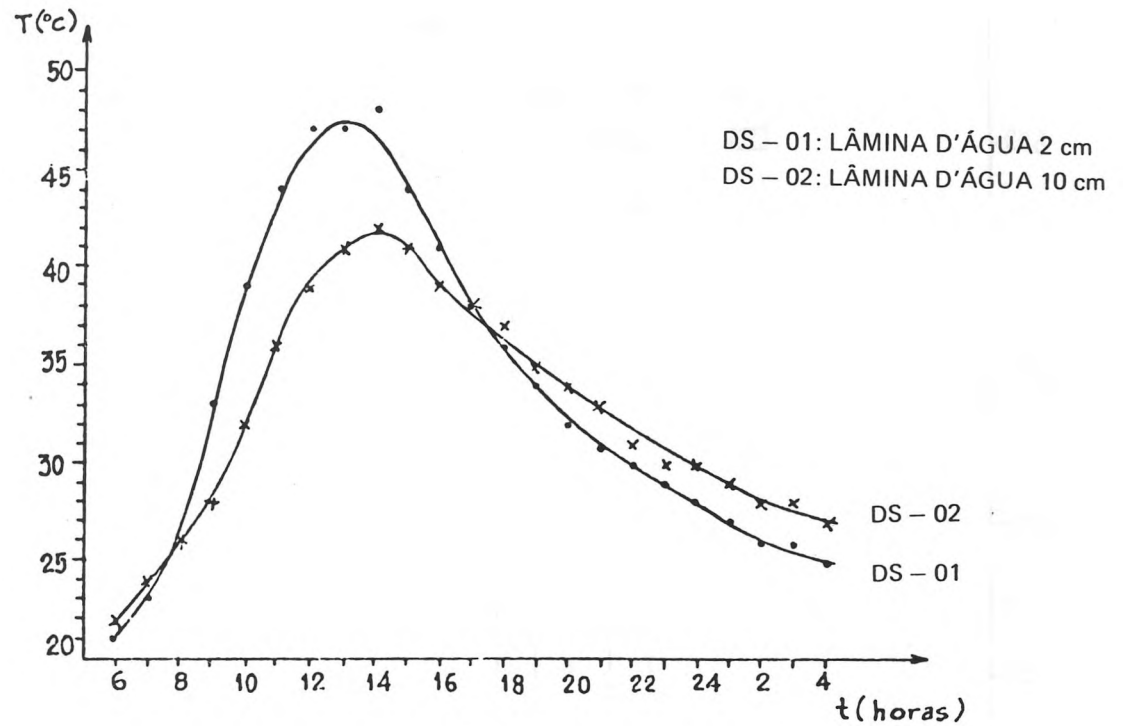


PRODUÇÃO HORÁRIA DO DS - 01

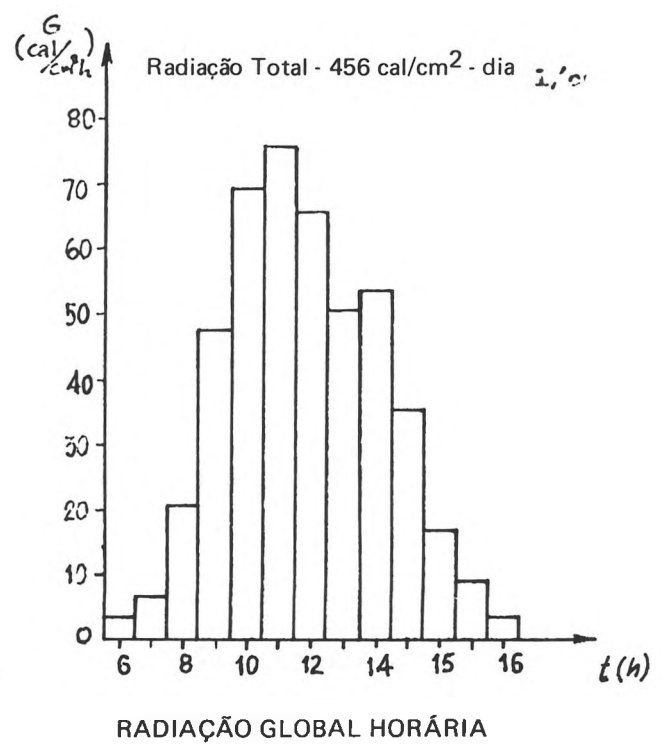
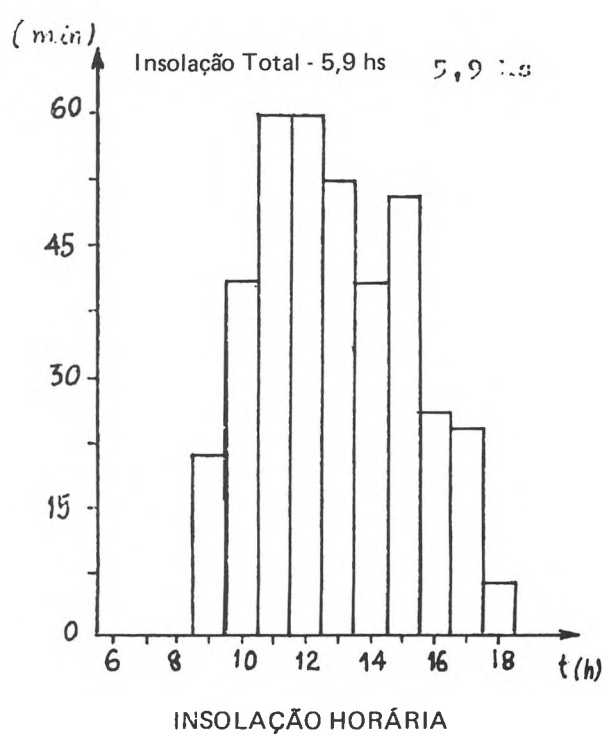
ÁREA - 2m²

LÂMINA D'ÁGUA - 2cm

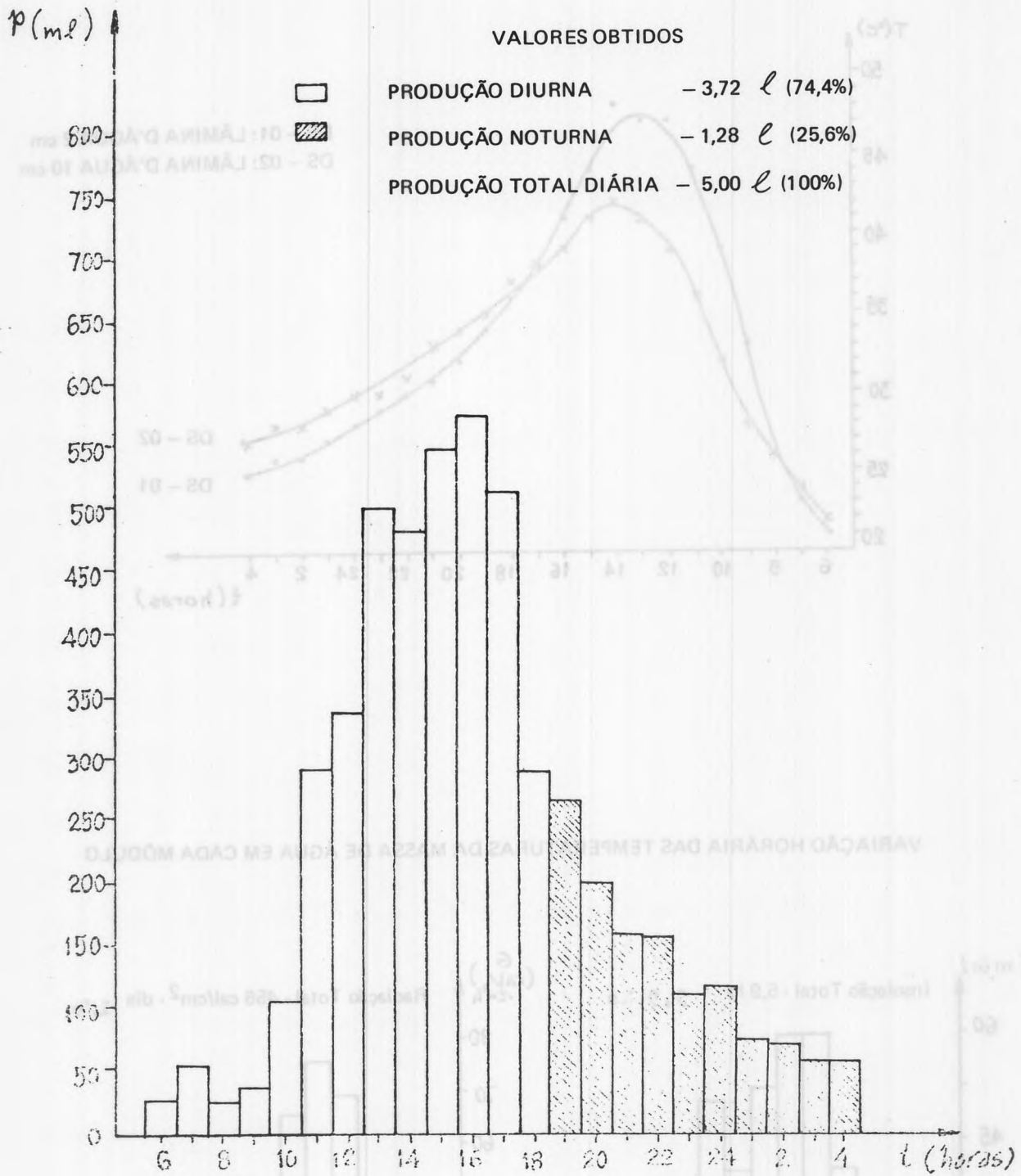
DIA 13-08-1975



VARIAÇÃO HORÁRIA DAS TEMPERATURAS DA MASSA DE ÁGUA EM CADA MÓDULO



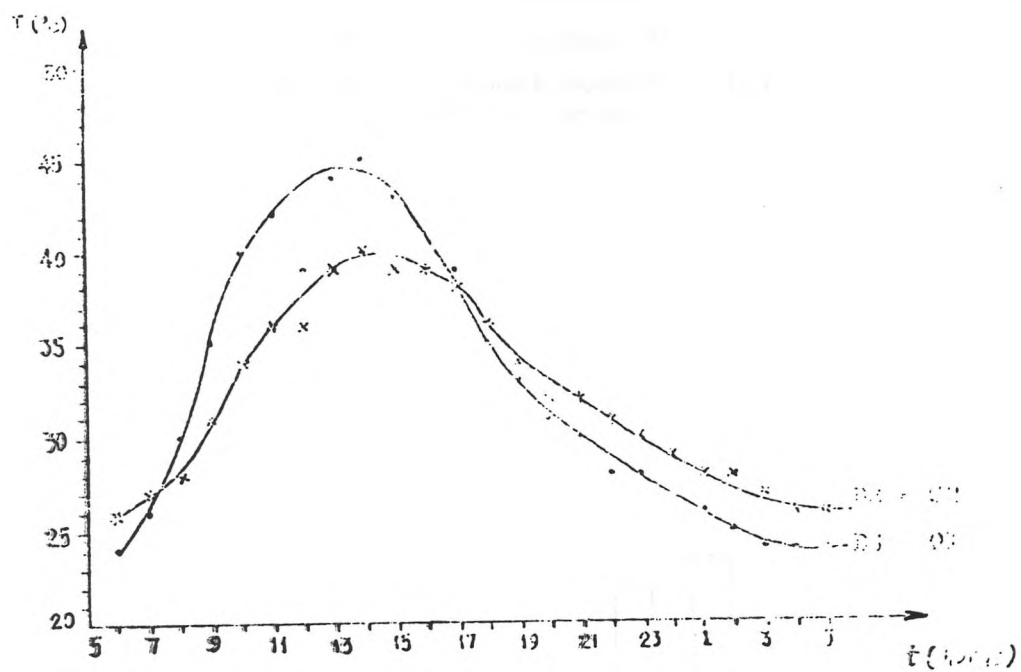
DIA 13 - 08 - 1975



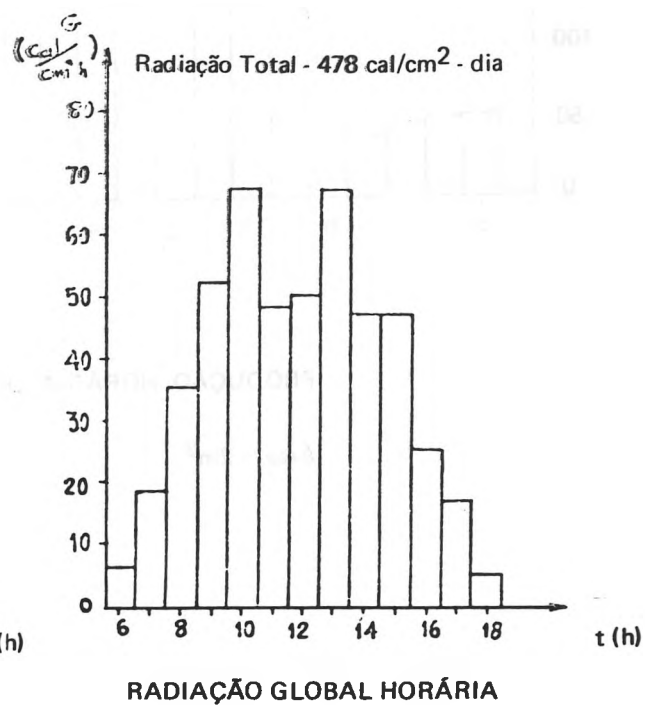
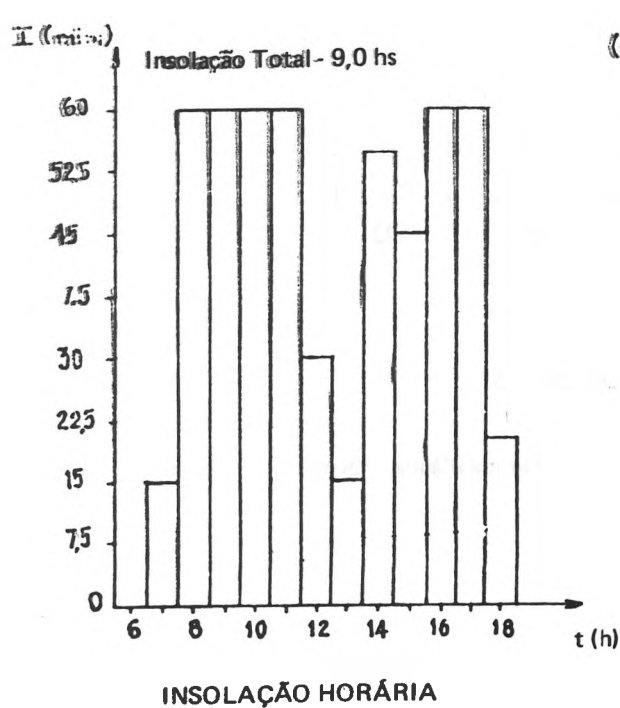
PRODUÇÃO HORÁRIA DO DS - 01

ÁREA - 2m^2

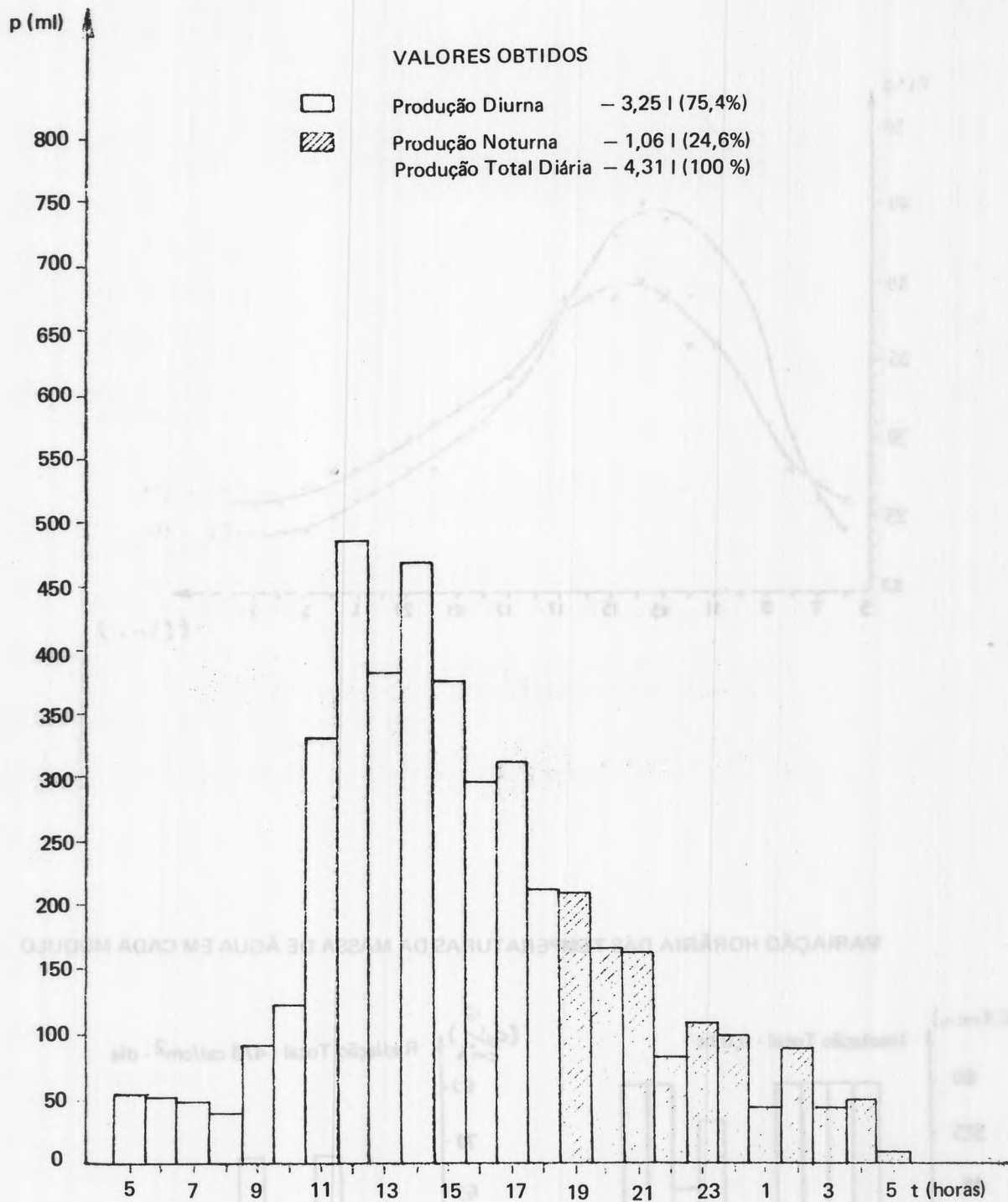
LÂMINA D'ÁGUA - 2cm



VARIAÇÃO HORÁRIA DAS TEMPERATURAS DA MASSA DE ÁGUA EM CADA MÓDULO



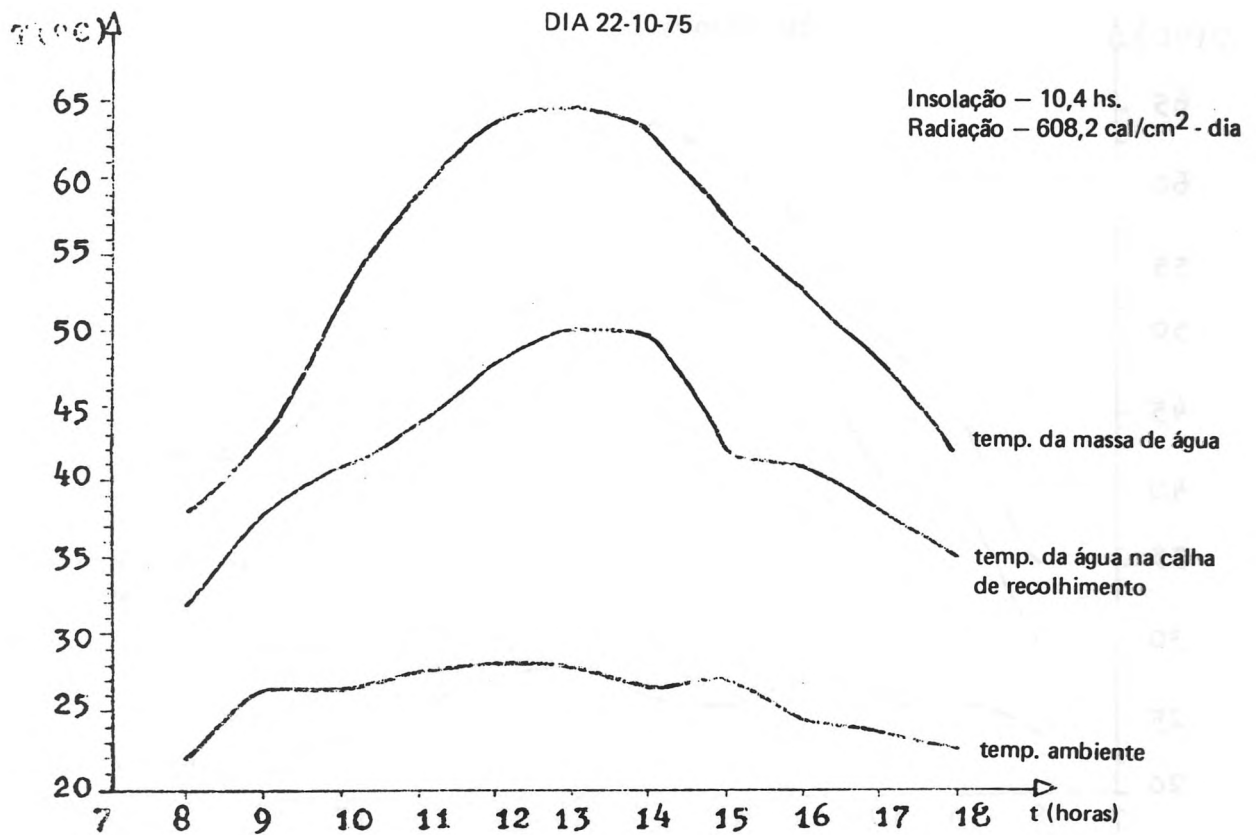
DIA 14-08-1975



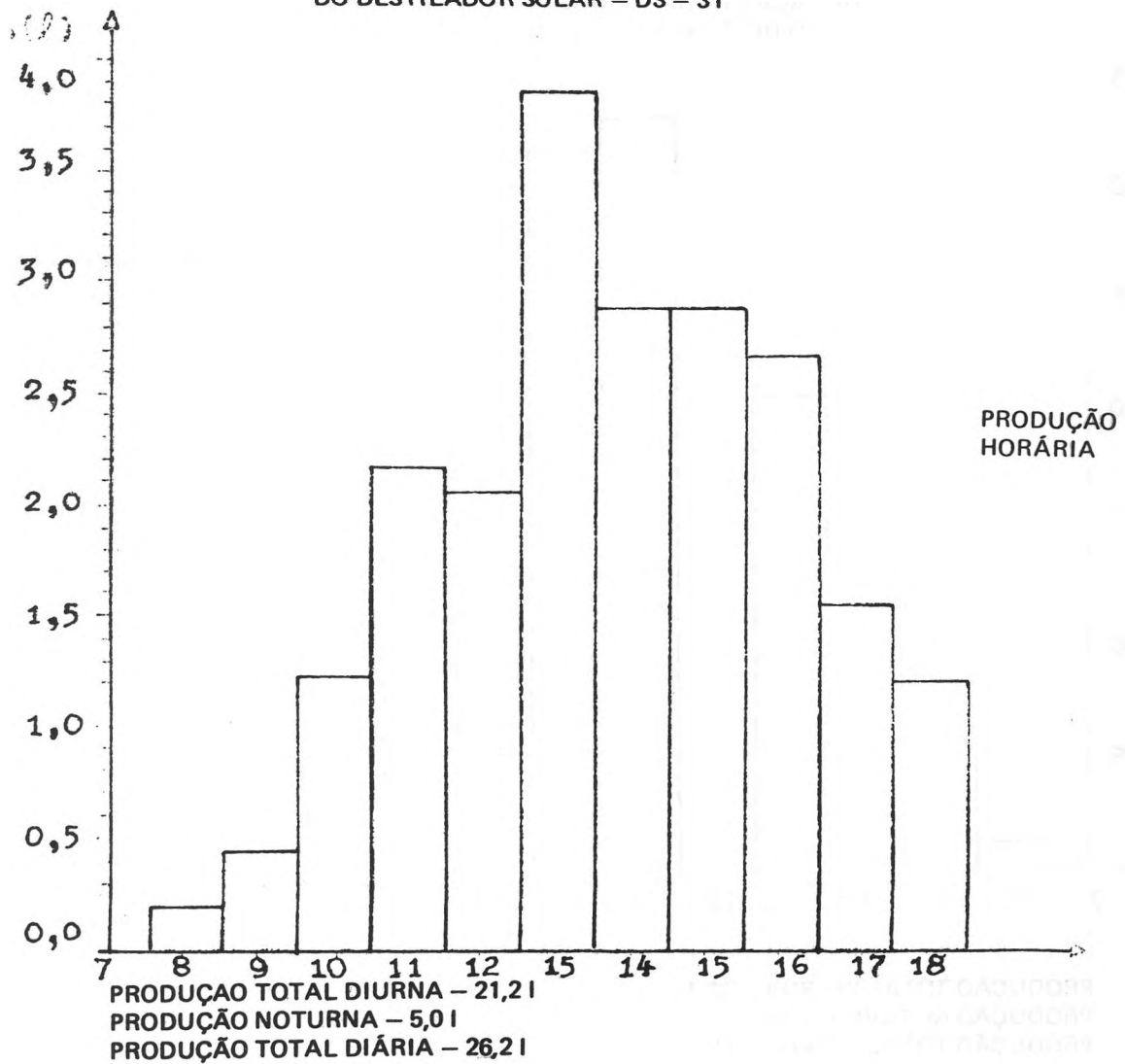
PRODUÇÃO HORÁRIA DO DS - 01

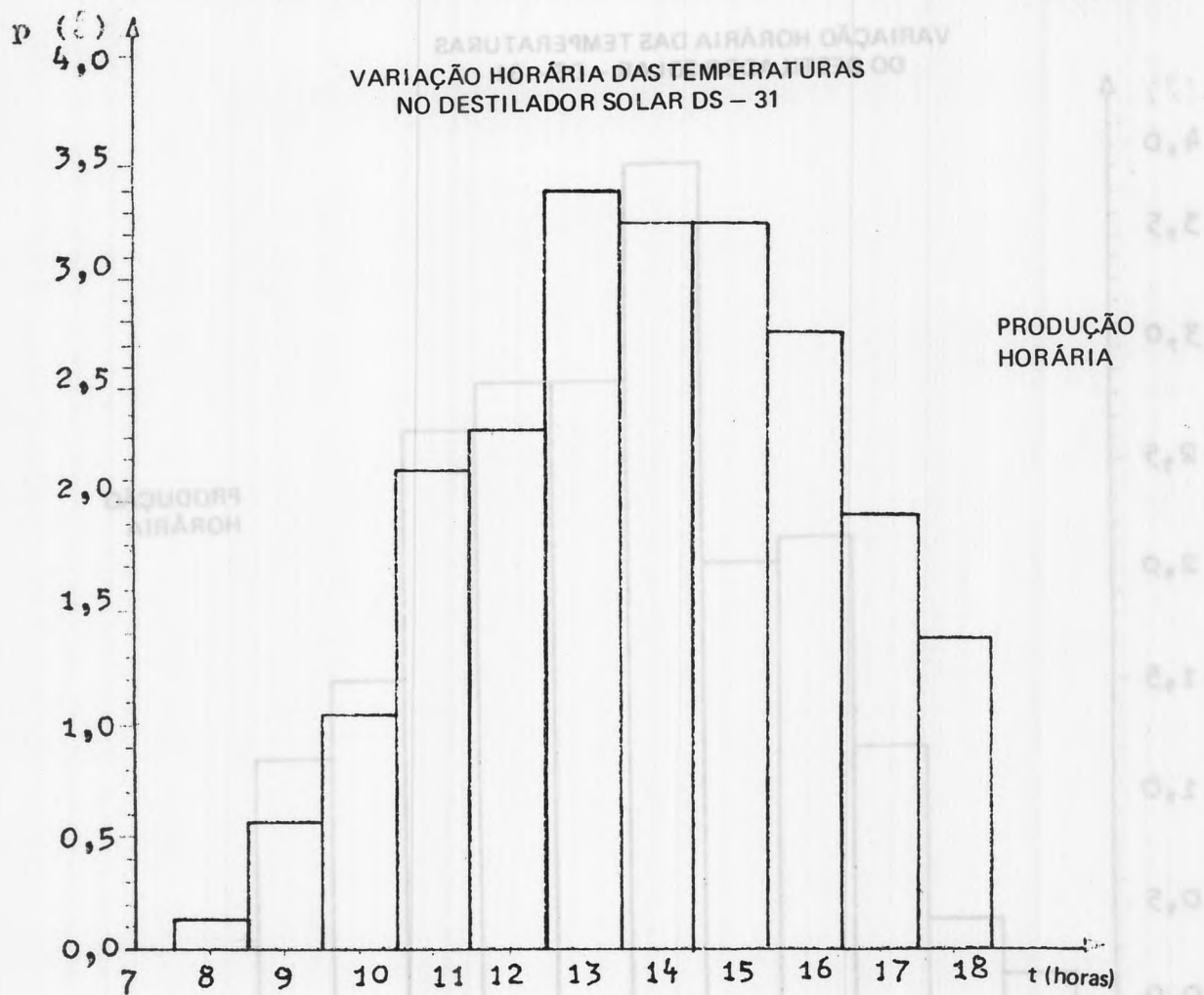
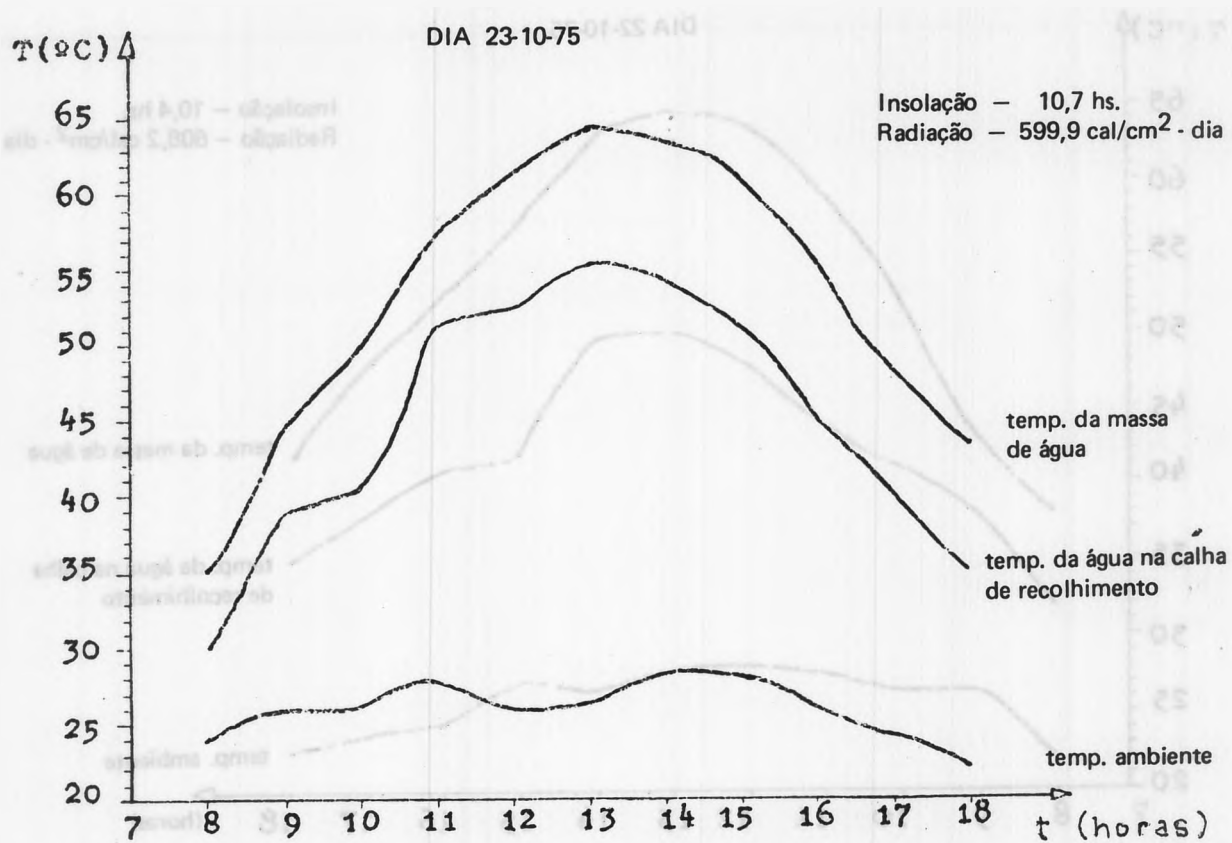
Área - 2m²

lâmina d'água - 2cm



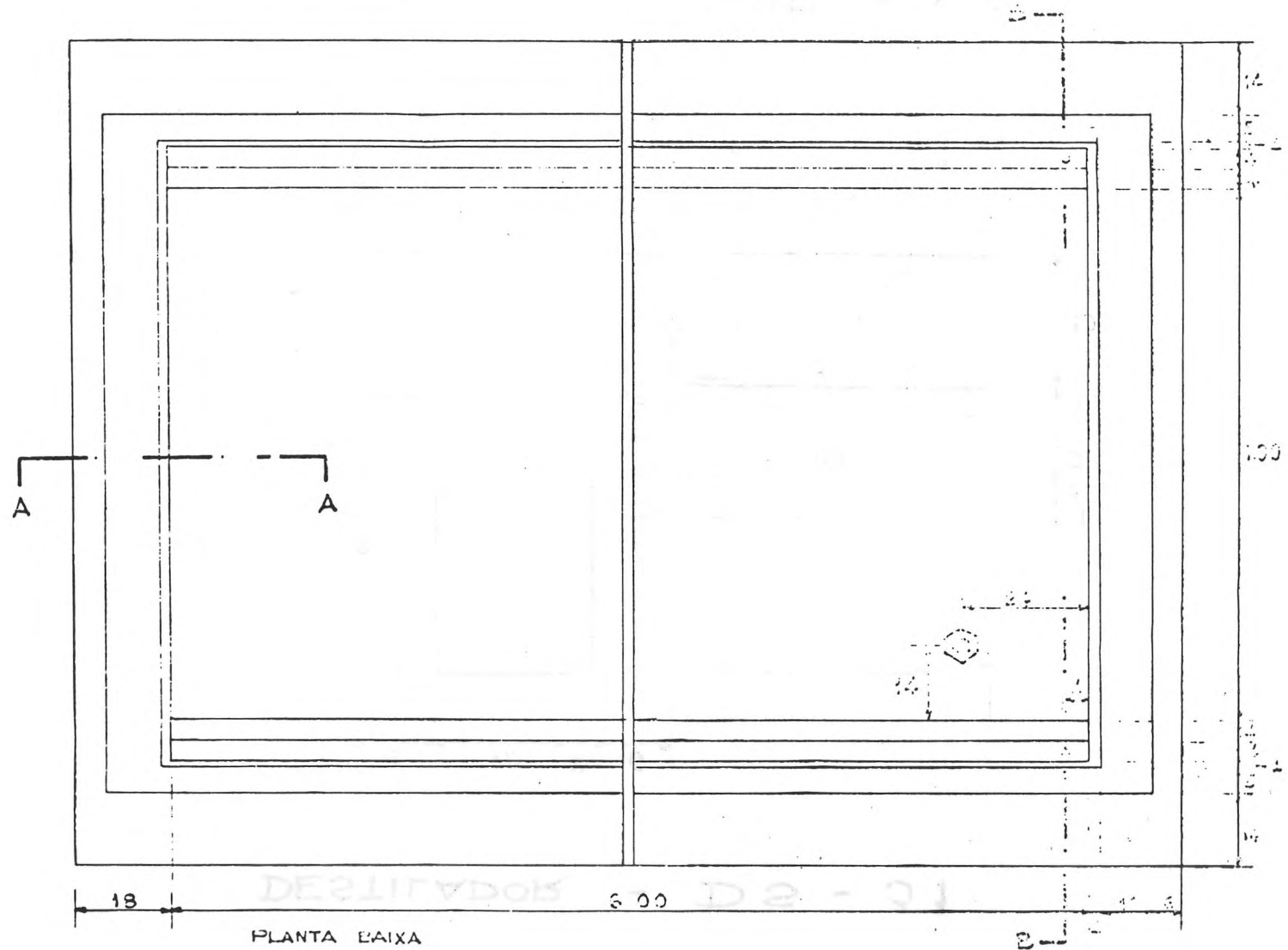
VARIAÇÃO HORÁRIA DAS TEMPERATURAS
DO DESTILADOR SOLAR — DS — 31



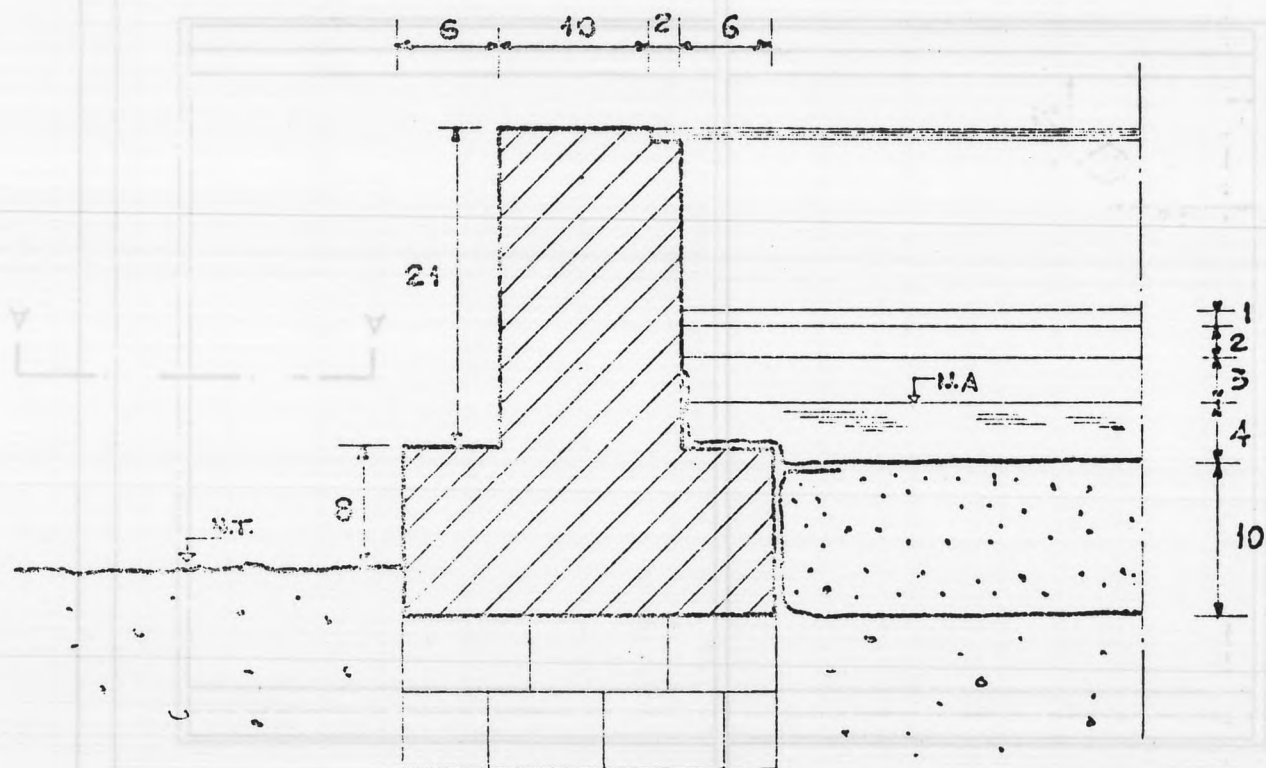


PRODUÇÃO TOTAL DIURNA — 22,1
 PRODUÇÃO NOTURNA — 4,9 ℓ
 PRODUÇÃO TOTAL DIÁRIA — 27,1

DISTILADOR SOLAR – DS – D1 (EM ALVENARIA)



DESTILADOR - DS - 31



CORTE - A A

APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR NO BOMBEAMENTO D'ÁGUA

Ricardo Pontieri Augusto *

Está sendo desenvolvido no Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal da Paraíba em João Pessoa, com suporte financeiro da FINEP, um projeto para construção de unidade a vapor para bombeamento d'água.

A unidade é constituída por um coletor plano por onde circula água como fluido absorvedor atingindo temperaturas entre 80° e 90°. A água atravessará um trocador de calor onde o fluido operante será evaporado e superaquecido, no caso o R11 (Freon 11). O vapor assim produzido será expandido em um motor alternativo onde teremos uma **potência** de eixo disponível. Em seguida o vapor será condensado em um trocador de calor resfriado a ar, para ser bombeado novamente ao gerador de vapor (fig. em anexo). Cumpre dizer que o ciclo de funcionamento desta máquina térmica é o de Rankine.

Antes de entrar em detalhes técnicos deve ficar bem claro qual é a filosofia que norteia este projeto.

O aproveitamento da energia solar ainda é conseguido através de processos dispendiosos e que não podem muitas vezes competir economicamente com o aproveitamento de outras fontes de energia em uso atualmente.

A partir deste fato deve ser adotada como premissa básica que a produção de potência a partir da energia solar deve se restringir a locais onde seja economicamente competitiva.

Tomando-se este dado básico, selecionou-se algumas características desejáveis a serem apresentadas pela unidade geradora, ou seja:

a) A unidade deve ser de pequena **potência**, isso se deve ao fato de que a maior parcela do custo da instalação incide sobre o coletor solar, cerca de 90%, e quanto maior a **potência** a ser produzida maior a área de coleta, exigindo um investimento que pode chegar a ser tão grande ao ponto de se tornar **preferível**, por exemplo, lançar linha de transmissão de energia **elétrica**.

b) Concepção mecânica simples e robusta, talvez pouco inovadora, visando:

- Baixo custo
- Facilidade de fabricação, sem necessidade de máquinas sofisticadas ou treinamento especial de mão-de-obra.
- **Possível** aproveitamento de peças fabricadas para outras finalidades.
- Manutenção mínima uma vez que, nos locais onde serão instaladas as unidades provavelmente não contará com mão-de-obra para assistência técnica.

c) Os materiais devem ser de fácil aquisição no mercado nacional, de preferência no mercado da região e de baixo custo.

d) Como última das **características** escolhidas, acreditando que seja esta uma das mais importantes, a unidade geradora de potência deverá ser destinada inicialmente, ao bombeamento d'água visando a atender o abastecimento de pequenas comunidades, diminuindo um aspecto da problemática social e levando à população uma nova dimensão da ciência, ou seja, a de ser benéfica quando voltada à solução de problemas que realmente afligem o ser humano, e não como simples criadora de prejuízos sociais desconcertantes.

Esta meta pode ser alcançada a curto prazo uma vez, que, uma bomba d'água acionada por um motor de 2 kw funcionando 6 horas por dia, pode elevar 20 metros cúbicos de água a 50 metros de altura, o que talvez represente a quantidade de água necessária ao atendimento de uma comunidade com 200 pessoas.

Para um aproveitamento racional de recursos, a instalação de cada unidade solar de bombeamento deverá ser precedida de exaustivos estudos econômicos, técnicos e muitas vezes sociológicas, analisando as peculiaridades locais sem o que corre-se o risco de grandes prejuízos.

* Engenheiro Mecânico do Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal da Paraíba.

Relativamente às outras formas de energia as dificuldades econômicas atuais tenderão a se reduzirem paulatinamente por dois motivos. O primeiro deles deve-se ao encarecimento progressivo das atuais fontes de energia devido aos reajustes nos preços do petróleo e ao esgotamento das reservas hidroenergéticas. O segundo é representado pelo barateamento em si das unidades de aproveitamento de energia solar, e isso será conseguido somente se forem aplicados recursos suficientes na pesquisa e na formação de pessoal técnico capacitado; se tal não ocorrer teremos que nos atribuir o papel de simples compradores de equipamentos e know-how, o que representará, como a experiência mostra, um apreciável aumento nas despesas de instalação e manutenção além da questão da saída de divisas do país e da dependência técnica.

Informações Técnicas

Foi iniciada a construção de um protótipo com potência nominal (a 33 Hz) de 100 W nas oficinas do DNOCS em Campina Grande, este primeiro modelo servirá somente para testes de laboratório e terá água como fluido operante, devido a impossibilidade até o momento de obter um gerador de vapor de freon. Nesta fase inicial pretende-se usar como caldeira um coletor de concentração, cilindro parabólico existente no L.E.S.

Trata-se, esse modelo, de um motor alternativo de potência de eixo bem baixa; se nos testes de laboratório a concepção mecânica idealizada mostrar-se eficiente, o passo seguinte será a construção de unidades maiores onde o limite superior de potência deverá situar-se por volta de 5 KW. A razão deste protótipo ter uma potência tão baixa deve-se a não justificação de gastos excessivos em grandes coletores quando as informações pretendidas podem ser obtidas com pequenos modelos.

Para potências maiores, usa-se, turbinas a vapor, para pequenas potências aparece o inconveniente de rotação excessivamente alta, da ordem de 40×10^3 rpm, o que implicaria na necessidade de um redutor, encarecendo bastante o produto final; este é um dos motivos pelo qual foi feita a opção por um motor alternativo.

Dados Geométricos

Furo	43,6 mm
Curso	30 mm
Deslocamento do Pistão	37,33 cm ³
Volume Mínimo (espaço morto)	16,83 cm ³

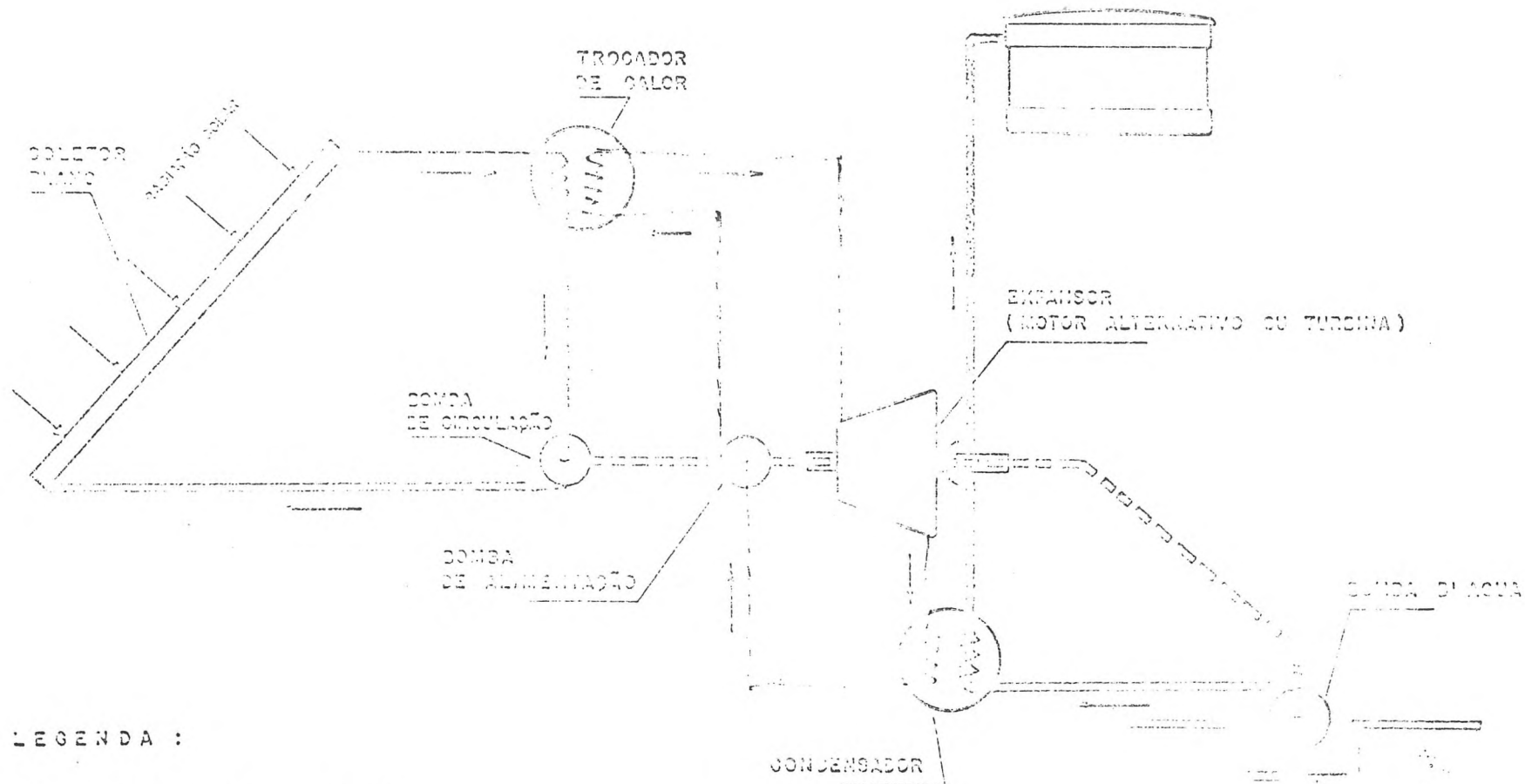
Dados Termodinâmicos

Substância de Trabalho	água
Pressão do vapor do coletor de admissão	bars 4
Temperatura do vapor do coletor de admissão	150°C
Pressão no coletor de exaustão (1 atm)	1.0135 bars
Eficiência térmica indicada do expensor (Estimativa)	55%
Eficiência mecânica (estimativa) do expensor	60%
Eficiência global (estimativa)	1,4%
Frequência do ciclo mecânico	10 Hz

Desempenho Previsto (ponto do projeto, duplo efeito)

Trabalho teórico (ideal do expensor)	5 J/ciclo
Frequência do ciclo termodinâmico	20 Hz
Potência teórica (ideal)	100 W
Potência indicada (estimativa)	55 W
Potência de freio (estimativa)	33 W
Potência consumida pela bomba de reinjeção (estimada)	3 W
Potência líquida do ciclo (estimada)	30 W
Potência absorvida no coletor solar (estimativa)	0,9 KW
Área de coleção (abertura do concentrador) aprox.	2,2 m ²

UNIDADE DE BOMBEAMENTO USANDO ENERGIA SOLAR



LEGENDA :

- FLUIDO DE ABSORÇÃO - ÁGUA DESTILADA
- FLUIDO DE OPERAÇÃO - FREON 11
- ÁGUA
- LIGAÇÕES MECÂNICAS

SALINIDAD EN LOS PERIMETROS IRRIGADOS DEL NORDESTE DE BRASIL

Fernando Pizarro*

1. INTRODUCCION

La salinidad es casi una constante en los perímetros irrigados del Nordeste de Brasil. Es un presente del clima de la región y de las condiciones topográficas de las áreas seleccionadas para el riego.

Con excepción de algunos perímetros de pluviometría elevada o de condiciones naturales de drenaje muy buenas, en la mayoría de los perímetros irrigados del Nordeste hay problemas de salinidad, que van desde pequeñas disminuciones en los rendimientos de los cultivos hasta el abandono total de las parcelas. Debido precisamente a las distintas intensidades con que el problema se presenta, es difícil resumir en una cifra la superficie afectada. De cualquier forma, con objeto de mostrar la importancia que tiene la salinidad, se puede estimar que las tierras afectadas representan algo más de 2.500 hs, lo que supone aproximadamente el 20% de la superficie actualmente transformada en regadío. Este porcentaje puede elevarse si en las áreas sin problemas no se adoptan unas medidas mínimas de carácter preventivo.

La salinización de las tierras regadas ocasiona, evidentemente, serios perjuicios económicos. Por una parte hay que considerar la disminución en las producciones. Por otra, la solución del problema exige inversiones adicionales no previstas, que pueden ser de importancia si el problema no se enfrenta en sus fases iniciales.

Además de los perjuicios económicos, existen otros de carácter social, ya que los colonos afectados no obtienen los ingresos previstos y la sustitución de sus lotes suele encontrar dificultades de organización que, en el mejor de los casos, retrasan la incorporación del colono a la plena actividad económica de la comunidad.

Ante la importancia de estos problemas, el DNOCS, mediante un convenio con la SUDENE, ha iniciado los trabajos de diagnóstico y recuperación de los suelos salinizados. El autor de este estudio, desde su incorporación a la Directoría de Irrigação del DNOCS, ha participado de estos trabajos y presenta aquí sus ideas al respecto, describiendo en primer lugar la naturaleza del problema y proponiendo las distintas medidas que se deben adoptar.

2. EL PROBLEMA DE LA SALINIDAD EN LOS PERIMETROS IRRIGADOS

En general las áreas regadas están situadas en los valles de los ríos y son zonas que antes de la transformación en regadío tenían un drenaje natural insuficiente. En consecuencia, en las partes bajas se acumulaba el agua procedente de lluvia y de escorrentía superficial. La evaporación de ese agua, así como su evapotranspiración por la flora espontánea y cultivada, aumentaba la concentración en sales de la misma. Señalemos que si bien el agua de lluvia tiene un contenido en sales muy reducido, no ocurre lo mismo con la de escorrentía, que disuelve las sales solubles del terreno que atraviesa. La repetición de este fenómeno a lo largo de los siglos, ha dado lugar a que se acumulen en el terreno cantidades considerables de sales. El mal drenaje natural de estos suelos y su naturaleza generalmente pesada, impedía la eliminación de las sales por lavado natural.

Por tanto, en las zonas afectadas suelen coincidir dos problemas: mal drenaje y desalinización.

El mal drenaje da lugar a que la capa freática se encuentre demasiado próxima a la superficie del terreno; por ejemplo, en Morada Nova, la parcela donde está situado el pozo de observación nº 53, durante el año 1974, tuvo la capa freática a menos de 1m de profundidad desde el 25 de Enero hasta el 29 de Septiembre.

En esas condiciones, las raíces de gran número de cultivos no pueden desarrollarse satisfactoriamente, debido a la falta de oxigenación y la producción disminuye grandemente.

En cuanto a la salinidad, ya hemos indicado su origen. Las sales solubles acumuladas se encuentran disueltas en el agua del suelo, lo cual ya es suficiente para perjudicar a los cultivos, porque, además de su efecto tóxico, a partir de una cierta concentración de sales en el agua, el sistema radicular no tiene la fuerza de succión necesaria para extraer agua de una solución de elevada presión osmótica, como es el caso de esas concentraciones salinas. En consecuencia, las plantas presentan síntomas de sequía, a pesar de que el terreno puede estar saturado de agua. Normalmente se considera que la concentración de sales muy perjudicial cuando la conductividad eléctrica (CE) del extracto saturado del suelo es superior a 4 mmhos/cm. Pues bien, en muchos análisis se han encontrado CE de más de 10 y 15 mmhos/cm.

*Misión Española. Convênio DNOCS/IRYDA.

El problema de exceso de sal en el agua freática es de fácil solución una vez instalado un sistema de drenaje eficiente, como el que se describirá mas adelante. Sin embargo, el problema de salinidad es, en muchos casos, bastante mas grave. En efecto, el sodio disuelto en el agua, ha llegado a alcanzar concentraciones tan altas que se a incorporado al complejo de cambio del suelo (constituido sobretudo por la fracción arcillosa) por medio de uniones químicas. Asi como antes citamos la cifra de 4 mmhos/cm como limite de concentración nociva, ahora podemos decir que cuando el sodio representa mas del 15% de los cationes intercambiables ($ESP > 15$) el suelo se considera alcalinizado. En los perimetros irrigados son numerosas las muestras de suelo en las que se han encontrado ESP superiores a 15%, llegando incluso a 40 y 50%~

Contenidos tan elevados de sodio pueden dar lugar a degradaciones en la estructura, impermeabilizando mas al suelo, con todos los perjuicios anejos.

La rescuperación de estos suelos es mas difícil, lenta y costosa. Mas adelante será descrita al tratar de la desalinización. Solo diremos ahora que es preciso aplicar enmiendas aportadoras de calcio como, por ejemplo, el yeso.

Con objeto de facilitar la comprensión de cuanto llevamos dicho, incluimos la siguiente clasificación de suelos con problemas de sal:

Tipo de suelo	CE(mmhos/cm)	ESP
Normal	< 4	< 15
Salino	> 4	< 15
Sódico-salino	> 4	> 15
Sódico no asalino	< 4	> 15

En resumen: el mal drenaje natural de los suelos y su elevado contenido en arcilla ha dado lugar a un problema de solinidad y en muchos casos de alcalinidad.

La situación descrita puede considerarse como el caso mas grave de los que se pueden presentar. En la práctica, no todos los suelos con problemas llegan a ese extremo, existiendo, como ya hemos dicho diferentes niveles de salinización, desde el descrito hasta los que se caracterizan por pequeñas disminuciones en los rendimientos de los cultivos.

3. ACTUACIONES CONTRA LA SALINIDAD

Estas actuaciones son distintas según la fase en que se encuentren los trabajos de implantación del regadio y la intensidad con que se presenten los problemas. A continuación se estudian los tres casos que pueden presentarse, que son:

- Perímetros en fase de estudio
- Perímetros en riego con peligro de salinización
- Perímetros salinizados

3.1. PERIMETROS EN FASE DE ESTUDIO

Es obvio que en la fase de estudio de un perimetro que se ha de transformar en regadio, las áreas donde se temen problemas de salinidad deben ser desechadas. Sin embargo, a veces esta decisión no es fácil, sobretudo si se tiene en cuenta que, en muchos casos, es difícil prever con exactitud la evolución del suelo y el grado de intensidad que puede alcanzar la salinización.

Sin embargo, hay casos en que la elección es clara: si hay exceso de tierra en relación con el agua de riego disponible deben seleccionarse las áreas de mejor drenaje, bien por sus características topográficas o por estar constituidas por suelos con buena permeabilidad.

Este planteamiento que, como hemos dicho antes, es obvio, no siempre se ha establecido con claridad y en consecuencia, actualmente se están regando terrenos que deberían haberse eliminado en los estudios previos.

3.2 PERIMETROS EN RIEGO CON PELIGRO DE SALINIZACION

El caso siguiente es el de perimetros ya transformados en riego, donde aún no se presentan graves salinizaciones, pero donde se preve una intensificación de estos problemas. Las actuaciones en este caso se pueden agrupar en tres grupos:

- Observación de la evolución del suelo
- Medidas preventivas
- Prácticas culturales y de riego

Estas actuaciones, que van a ser descritas a continuación, son características de las áreas salinas, donde la

agricultura presenta una serie de peculiaridades que hace que se pueda hablar de una verdadera "agricultura de suelos salinos". En regiones como el Nordeste, esta especial agricultura ha de llegar a ser práctica común y los responsables han de aceptarlo como una imposición del clima, que a cambio ofrece importantes ventajas en relación con otras áreas agrícolas del mundo. Así como en otras regiones se cuenta con las o el fuerte viento y la agricultura ha tenido que adaptarse a esas condiciones, en el Nordeste la agricultura se ha de adaptar a la condición de salinidad.

Las primeras medidas en estos casos deben tener por objeto estudiar la evolución del suelo. La salinización de éste suele ser consecuencia de un drenaje deficiente. Por tanto, el conocimiento del drenaje es fundamental para prever la evolución de las tierras: Para ello se deben instalar pozos de observación del nivel freático, en los cuales se realicen dos tipos de lecturas:

a) Lecturas periódicas, por ejemplo una vez al mes.

b) Lecturas diarias en ciertos casos, con objeto de conocer las respuesta del acuífero ante su carga por los distintos factores.

Dentro de estas últimas lecturas, las mas necesarias son:

b-1 Lectura del nivel freático el día anterior a la aplicación de un riego y los 3,4 ó 5 días siguientes.

b-2 Idem en el caso de una fuertes lluvia, aunque evidentemente la lectura del día anterior no se puede hacer porque rara vez se sabe si una fuerte lluvia va a ocurrir o no.

Todas estas lecturas informan si el drenaje funciona o no satisfactoriamente. Además permiten realizar el cálculo teórico del balance de sales de la zona radicular, lo que conduce a unas previsiones acerca de la salinización del suelo.

Los cálculos citados deben ir acompañados de una comprobación práctica, para lo cual realizares periódicamente análisis del suelo y observaciones del comportamiento de las plantas, especialmente las sensibles a la sal. En cuanto a los análisis de suelo, puede ser suficiente con dos anuales, uno antes de la época de lluvias y otro después.

Si todos los estudios indican un aumento del nivel de salinidad, hay que recurrir a unas medidas que llamamos preventivas porque han de aplicarse antes de que el problema revista caracteres de gravedad y porque asimismo son de aplicación aún en ausencia de síntomas de salinidad. Estas medidas consisten simplemente en el mantenimiento de la red de drenaje abierto en buenas condiciones de funcionamiento. Es muy frecuente que en los perímetros irrigados los desagües estén casi abandonados, cubiertos de vegetación y con aterramientos que reducen no solo su capacidad de transporte sino, sobre todo, su efecto de captación del agua freática.

En relación con este tema, creemos muy importante que se dote a los perímetros de los equipos necesarios para el mantenimiento de los desagües. Estos equipos no requieren gran complicación y consisten en retroexcavadoras cuyo número dependa de la longitud de los desagües de cada perímetro. Para la mayoría de ellos bastará con una sola máquina, e incluso se puede pensar en equipos regionales dedicados a estos fines. Cualquiera que sea la organización de dichos equipos, lo que aquí interesa es destacar su necesidad.

Finalmente y como actuaciones mas típicas de lo que hemos llamado "agricultura de suelos salinos", figuran las prácticas culturales y de riego. Vamos a tratar de ellas agrupándolas en la forma siguiente:

- a) Labores agrícolas
- b) Abonado
- c) Elección de cultivos
- d) Mejora de la resistencia de las plantas a la salinidad
- e) Prácticas de riego

a) Labores agrícolas. — En general, la forma de ejecución de las labores afecta mas al drenaje que a la salinidad. Sin embargo, como ésta es consecuencia de aquél en buena parte, conviene observar las normas siguientes, que tienen por objeto mejorar o no deteriorar el drenaje del suelo.

Las labores deben ser cuidadosamente ejecutadas. No deben realizarse con una humedad en el suelo por encima de la capacidad de campo, pues el paso de las máquinas deteriora la estructura del suelo. En particular la siembra y sus labores previas deben realizarse con la capa superior del suelo bastante seca. De no hacerse así se pueden perjudicar la germinación, que para la mayor parte de las plantas es la fase mas sensible del ciclo vegetativo.

Una buena práctica consiste en realizar las labores inmediatamente después de la cosecha, ya que en esa etapa la evapotranspiración habrá reducido considerablemente la humedad del suelo.

Finalmente y dentro del tema de las labores recomendables debemos citar los subsolados, que mejoran la aireación del suelo y su drenaje.

b) Abonado. — El empleo como abono de sales muy solubles, sobretodo SO_4K_2 , aumenta la concentración en sales de la solución del suelo, con sus correspondientes efectos nocivos. Por tanto se deben preferir abonos menos solubles. Otras medidas de fertilización muy convenientes son el empleo de abonos orgánicos y foliares.

c) Elección de cultivos. — En la literatura especializada es fácil encontrar la relación de cultivos con indicación de su tolerancia a la salinidad. Esta información permite elegir las especies que técnicamente se adapten a cada situación particular.

Aparte de la resistencia a la sal, una característica muy interesante de algunos cultivos es su capacidad de absorción de las sales del suelo. Entre estas plantas hay que destacar al girasol, que, además, aporta gran cantidad de materia vegetal al suelo, mejorando su estructura. Asimismo, debido a su elevada evapotranspiración, hace descender la capa freática, disminuyendo el aporte capilar de sales.

d) Mejora de la resistencia de las plantas a la salinidad. — En general, estas mejoras exceden del cometido de los responsables de las explotaciones agrícolas e incumben más a técnicos en mejora genética. Por tanto solo vamos a citar la posibilidad de obtener variedades resistentes por medio, de selección artificial, cruzamiento intervarietal e hibridación.

Existen algunas técnicas que aumentan la tolerancia de las plantas. No obstante, aún no llegan a constituir una práctica agrícola normal, por lo que solo vamos a enumerarlas: tratamientos de semillas con aguas saladas antes de la siembra, vernalización en soluciones nutritivas y tratamientos con ciertos inhibidores del crecimiento, que hacen a las plantas más resistentes a la acción tóxica de las sales.

e) Prácticas de riego. — La aplicación del riego influye mucho en los efectos sobre los cultivos de las sales del suelo. De los cuatro métodos de riego, gravedad, aspersión, subirrigación y goteo, los dos últimos deben desecharse cuando hay problemas de sal. En cuanto a los otros dos métodos, más adelante se verán los inconvenientes de cada uno de ellos. Ahora vamos a citar algunas prácticas de riego muy convenientes en suelos salinos.

1ª. — A continuación de un riego bien aplicado, el suelo queda con una humedad próxima a la capacidad de campo. A partir de ese momento, la evapotranspiración disminuye el contenido de humedad, sin disminuir grandemente el contenido en sales. En consecuencia, la concentración salina del agua del suelo aumenta, y si se permite que alcance ciertos valores, puede llegar a perjudicar el normal desarrollo de los cultivos. Por esta razón es recomendable aplicar riegos con mayor frecuencia y menor dosis de que se haría si no hubiese problemas de sal.

2ª. — Las lluvias de pequeña cuantía suelen ser contraproducentes, porque lavan las sales de la superficie del terreno, acumulándolas en la zona radicular. La escasa precipitación no llega a transportar las sales a mayor profundidad. Por esta razón a continuación de una lluvia ligera es recomendable aplicar agua de riego, con objeto de lavar las sales acumuladas en la zona radicular.

En general, en suelos salinos, el riego por gravedad es preferible al de aspersión por las razones siguientes:

— el sistema de gravedad permite la realización de lavados más enérgicos.

— la mayor evaporación del agua de aspersión en ciertos climas, aumenta la concentración en sales de la misma. Este efecto se puede disminuir regando de noche, lo que por aspersión no presenta los grandes inconvenientes de tipo humano que aparecen en el riego nocturno por gravedad.

— la aplicación sobre las partes aéreas de las plantas de aguas salinas, puede causar efectos perjudiciales. Así ocurre por ejemplo en el riego por aspersión de cítricos con aguas conteniendo cloruros, que dan lugar a quemaduras en las hojas.

En cambio el riego por aspersión tiene la ventaja de proporcionar al suelo una distribución de agua mucho más regular que con el riego por gravedad.

Entre los distintos sistemas de riego por gravedad, el que necesita de manejo más cuidadoso en el caso de salinidad es el de surcos. En efecto, como muestra la figura, el lavado no afecta a los caballones, donde se acumulan las sales por capilaridad. En el caso de riego por surcos se recomiendan las prácticas siguientes:

a) No sembrar en la cumbre del caballón. Si la planta lo permite, sembrar en el fondo del surco y si no, en los laterales.

b) Establecer una rotación de cultivos que permita alternar el riego por surcos con otros sistemas de gravedad, como por ejemplo, inundación.



c) Si la medida anterior no es conveniente porque los cultivos que se pueden regar por inundación no interesan por razones económicas, cada cierto número de cosechas los surcos se deben variar de manera que los caballos no ocupen siempre la misma franja de tierra.

3.3. PERIMETROS SALINIZADOS

Por último vamos a tratar del caso de perímetros ya salinizados. La solución en estos casos requiere generalmente una mejora del drenaje y la aplicación de la técnica de lavados, solos o combinados con correcciones químicas.

La mejora del drenaje puede ir desde una simple profundización de desagües, hasta el caso más complicado de instalación de una red de drenaje subterráneo. En este punto nosotros vamos a tratar de este último caso, ya que la profundización de desagües es tarea muy parecida y requiere unos equipos similares a los descritos al tratar de la limpieza de la red de drenaje abierto. Además, el estudio del problema en los casos de mayor complicación, conduce a unas conclusiones, relativas sobretudo a la necesidad de importar maquinaria especializada, que es de gran interés comunicar a los responsables de las áreas en riego.

Un drenaje subterráneo pretende controlar la capa freática de forma que se consigan los dos objetivos siguientes:

- 1º Que la zona radicular no se encuentre saturada de agua durante periodos demasiado largos.
- 2º Que se puedan aplicar lavados que, solos o combinados con enmiendas, eliminen las sales.

A continuación se justifican y describen las obras de drenaje y el proceso de desalinización.

3.3.1. NECESIDAD DE UN SISTEMA DE DRENAJE SUBTERRANEO

Es frecuente interpretar que el objeto de una red de drenaje es el estabilizar la capa freática a una profundidad tal que permita el desarrollo radicular y el lavado de las sales. Sin embargo, el concepto de estabilización de la capafreática no es aplicable a casos como el de los perímetros irrigados del Nordeste de Brasil. La razón es que se trata de zonas en riego con un régimen pluviométrico caracterizado por precipitaciones de gran intensidad. Tanto en el caso de un riego como después de una fuerte lluvia, la cantidad de agua aportada es tan grande que la capa freática no se puede mantener estable. En esas condiciones, los objetivos de drenaje se definen en términos dinámicos, como los que se citan a continuación, que son una adaptación de los criterios utilizados en España a las características del Nordeste brasileiro.

a) **Epoca de riego.** — La capa freática, después de un riego, puede llegar incluso a la superficie del terreno. Sin embargo, se impone la condición de que tres días después haya bajado a 1m de profundidad.

b) **Epoca de lluvias.** — Se permitirá que la capa freática llegue a 50 cm de la superficie 5 veces por año.

El sistema de drenaje se calcula para que se cumplan las condiciones anteriores, que tienen un fundamento agronómico.

En el ANEJO nº 1 se hace el cálculo de un caso real (Morada Nova) y aunque de los datos utilizados son aproximados, las conclusiones obtenidas siguiendo válidas para los fines de este estudio. De ese A ese Anejo extraemos los resultados siguientes:

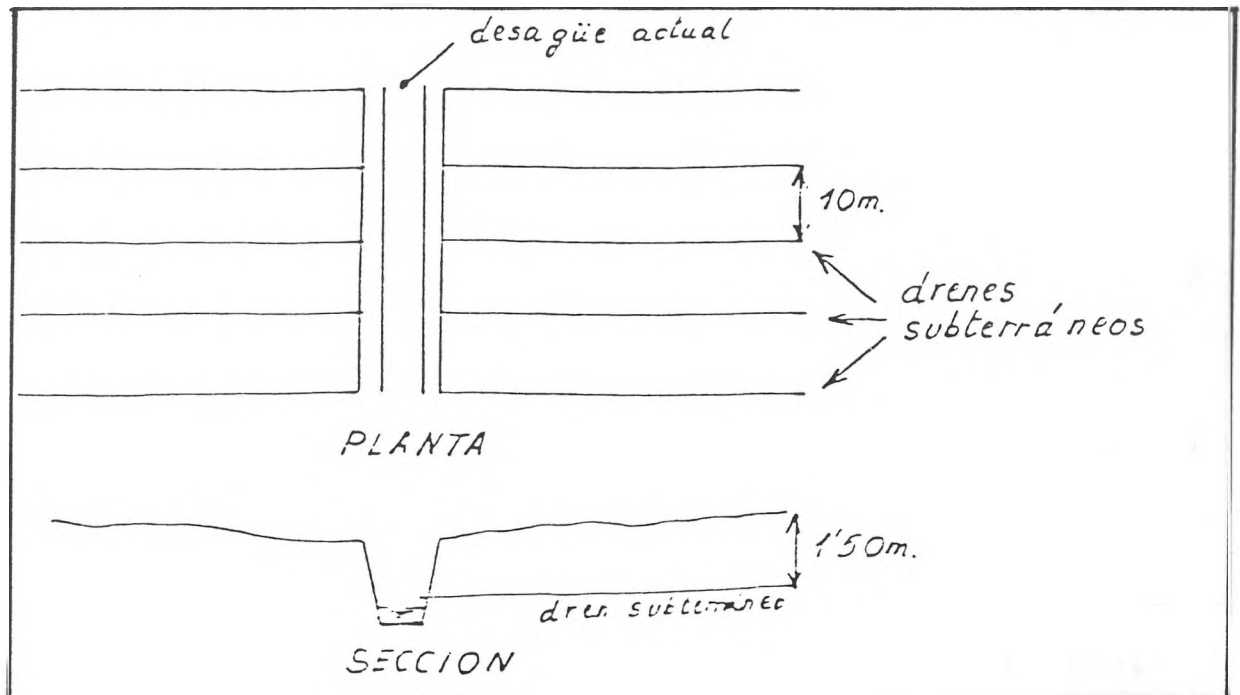
Profundidad de los drenes	1'50 mts
Espaciamiento entre drenes	10'00 mts

Como se ve, el espaciamiento entre drenes es tan reducido que no se pueden utilizar zanjas abiertas por la gran pérdida de superficie agrícola que supondría y por las dificultades que causaría a las labores agrícolas y riego.

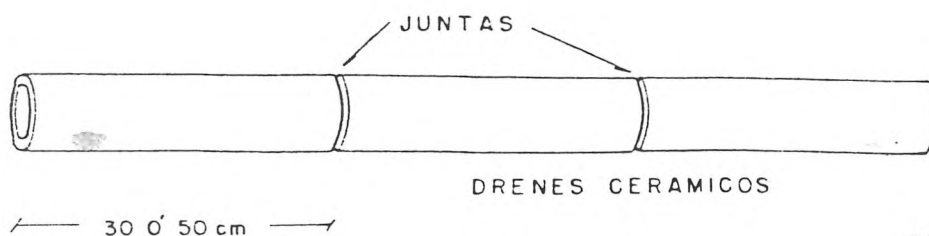
Por tanto se hace necesaria la instalación de un sistema de drenaje subterráneo como el que se describe en el apartado siguiente.

3.3.2. DESCRIPCION DEL SISTEMA DE DRENAJE

La figura adjunta muestra en esquema la solución propuesta. Consiste en profundizar los actuales desagües hasta una profundidad del orden de 2mts. A continuación se instalan los drenes, que pueden ser de dos tipos:



a) "Manilhas", es decir, tuberías cerámicas, de unos 5-9cm de diámetro y 30 cm de longitud. Las juntas, de 1mm de longitud, permiten la entrada del agua del suelo.



30 O 50 cm

b) drenes de PVC corrugado y perforado.

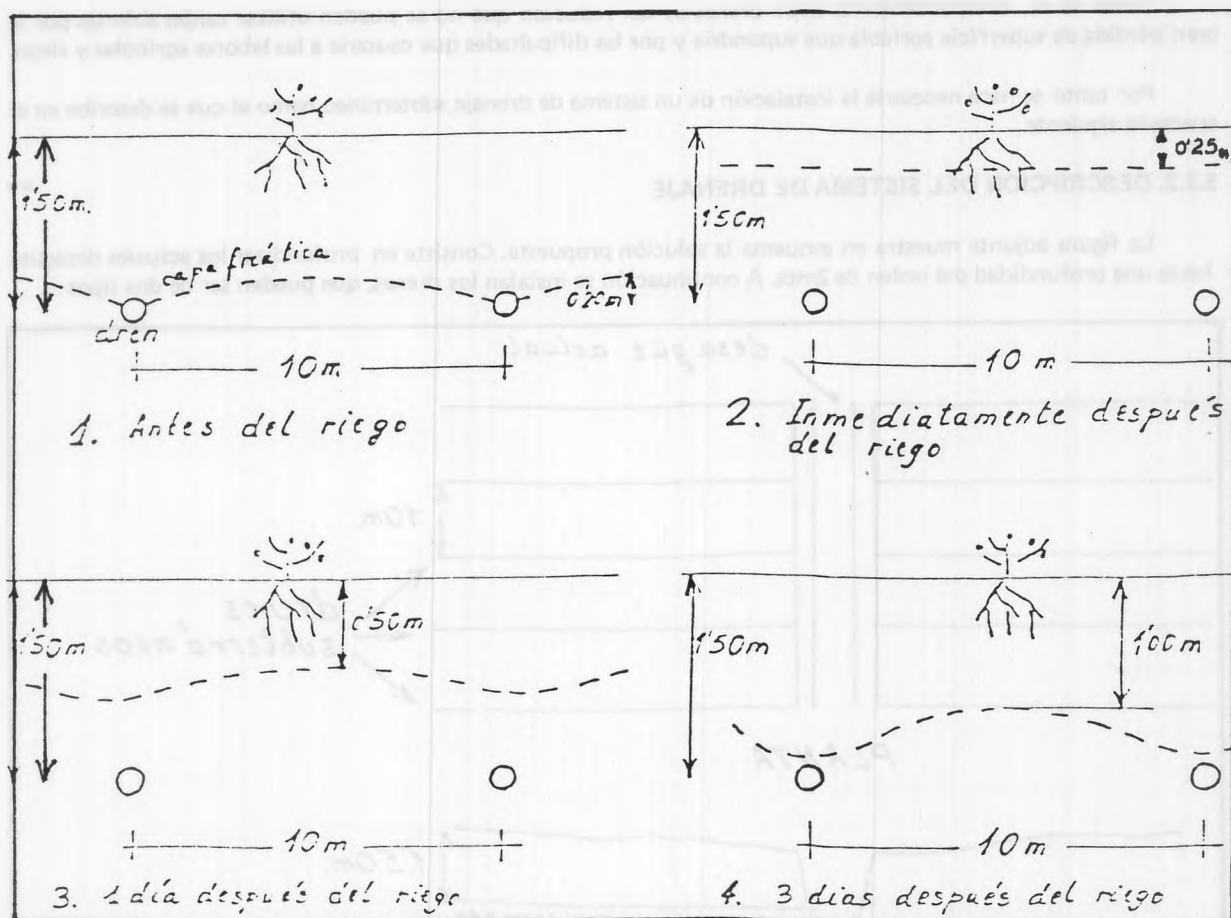


b) drenes de PVC corrugado y perforado.

En otra comunicación, que con el título de "Materiales de drenaje: teoría, práctica y criterios de elección" hemos presentado a este Seminario, se trata con detalles de ambos tipos de drenes, por lo que no vamos a repetir aquí lo que allí se dice.

Ambos tipos de drenes funcionan satisfactoriamente. En el caso de los perímetros del Nordeste, parece que los de cerámica serán mas adecuados porque los de PVC no se construyen en Brasil. De todas formas, esta cuestión de la elección de un tipo de dren u otro se deberá estudiar cuidadosamente, dependiendo grandemente de la cantidad total de drenes a instalar.

La instalación de los drenes es asunto de fundamental importancia, por lo que se le dedica un apartado exclusivo. Ahora solo describiremos el funcionamiento de esos drenes.



La figura muestra la situación antes del riego (1). A continuación del riego (2) el agua freática se eleva hasta, por ejemplo la superficie. A continuación empieza a descender y al cabo de un día (3) ya está a 50 cm de profundidad y a los cuatro días (4) ha descendido hasta 1m. bajo la superficie.

Con esta instalación, la zona radicular está suficientemente aireada, permitiendo además la técnica del lavado de sales, de que se tratará mas adelante.

3.3.3. INSTALACION DE DRENES

Existen dos sistemas de instalación de drenes, a los que aqui vamos a denominar método convencional y métodos modernos. El método convencional consiste en la apertura de una zanja por medio de una retroexcavadora y en la colocación a mano de los drenes en el fondo de la zanja, que a continuación se rellena de tierra.

El gran inconveniente de este método es su elevado coste, que, a falta de perfeccionar algunos datos, se puede cifrar en unos 15 Cr por metro lineal de dren colocado. Para comprender la importancia de esta cifra, basta considerar que en un terreno arcilloso en que los drenes se coloquen con un espaciamiento de 10 mts. la longitud total por ha seria de 1.000 mts, con lo que el coste del drenaje se elevaria a la fuerte cifra de 15.000 Cr/ha.

Otro inconveniente de este método es su lentitud, lo cual es importante si se tiene en cuenta que la mayor parte de los drenes se instalan en terrenos en producción, por lo que conviene que las tierras estén ocupadas el menor tiempo posible.

Los métodos modernos consisten en el empleo de maquinaria especializada que en una misma operación abre una estrecha zanja y coloca el dren. Existen máquinas de muchos tipos, adecuadas a los distintos tipos de suelos, profundidades y otras características.

Drenadora zanjadora

Al parecer no existe en el Nordeste de Brasil experiencia con este tipo de máquinas, lo que impide conocer el coste del metro de dren instalado. Actualmente en España, en las obras que el IRYDA realiza con maquinaria propia en las Marismas del Guadalquivir (Sevilla), el coste es de 3 Cr por ml. Nosotros estimamos que el coste por ml. en los perimetros del Nordeste puede estar en torno de los 4 Cr, lo que en el supuesto anterior de 1.000m/ha supone un coste de 4.00 Cr/ha, notablemente inferior al correspondiente al método convencional que, como se recordará, es de 15.000 Cr/ha.

Sin embargo ni el DNOCS ni los contratistas del Nordeste disponen de esta maquinaria, por lo que, en opinión del autor de este estudio, es necesario que el DNOCS adquiera una importándole de los países donde se fabrican. Existen máquinas americanas, inglesas, japonesas, españolas, alemanas y holandesas. De ellas nos inclinamos por las holandesas, de las que hay varias marcas y tipos, entre los cuales se puede escoger la mas adecuada para las obras a realizar en los perimetros irrigados.

El coste de esta máquina no es excesivo. Actualmente debe ser de 1 millón de cruzeiros aproximadamente por unidad. En principio solo seria necesaria una máquina de esta clase, ya que su capacidad es del orden de 4.000 metros por día, es decir, 4 has/día o, aproximadamente, 1.000 has/año.

Por otra parte, si se considera que el ahorro que se obtiene con el empleo de tal máquina es de

$$15.000 - 4.000 = 11.000 \text{ Cr/ha}$$

para amortizar la máquina se necesitan:

$$\frac{1.000.000 \text{ Cr}}{11.000 \text{ Cr/ha}} = 90 \text{ horas}$$

superficie muy inferior a la que debe ser drenada en los perimetros del DNOCS, que puede estar alrededor de las 1.500 has, considerando solamente las áreas actualmente transformadas en regadio.

3.3.4 DESALINIZACION

A efectos de eliminación de sales, cabe hacer dos grupos con los suelos afectados.

1º Suelos con ESP inferior a 15. — Estos suelos se caracterizan porque las sales se encuentran fundamentalmente disueltas en el agua del suelo. El valor $ESP < 15$ indica precisamente que el contenido en sodio del complejo de cambio es reducido.

Para la eliminación de las sales solubles, es preciso la instalación de un drenaje efectivo y, a continuación, la aplicación de lavados. Estos consisten en añadir agua en exceso para provocar un flujo hacia los drenes que arrastre las sales y las elimine a través de los drenes. De esta forma, a medida que se van sucediendo, los lavados la concentración de sales en el agua disminuye, hasta situarse en niveles no perjudiciales para los cultivos.

2º Suelos con ESP superior a 15. — Estos suelos contienen gran cantidad de sodio combinado químicamente con las arcillas del complejo de cambio y esa unión química impide que los cationes de sodio sean arrastrados por el agua de lavado.

La técnica de desalinización de estos suelos comprende dos fases: en la primera se añade al suelo alguna enmienda aportadora de calcio (la enmienda clásica es el yeso). El calcio desplaza al sodio de sus combinaciones químicas y de esta manera queda libre y puede ser eliminado en la segunda fase, mediante lavados.

3.3.5. COSTE DE LA RECUPERACION DE LAS TIERRAS

En el ANRJO nº 2 se detalla el coste por ha, que se resume a continuación:

— Acondicionamiento de desagües	600 Cr
— Drenaje subterráneo	4.000 Cr
— Subsolados	2.100 Cr
— Enmiendas	4.000 Cr
TOTAL	10.700 Cr

este coste no se realizará en un año, ya que conviene espaciar los subsolados y las enmiendas. La secuencia de inversiones es la siguiente:

Año	Inversión (Cr/ha)
1	5.300
2	2.000
3	700
4	1.000
5	700
6	1.000
TOTAL.....	10.700

3.3.6. RENTABILIDAD

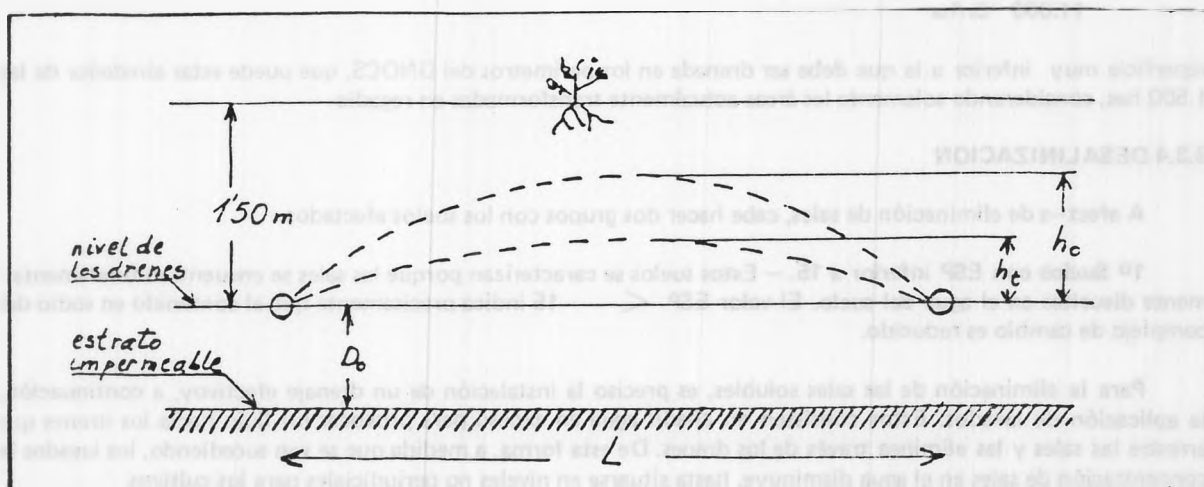
En el ANEJO nº 2 se calcula que la tasa interna de retorno de la recuperación de las tierras supera al 30%. De dicho anejo extraemos el párrafo siguiente:

“Hay que advertir que esta rentabilidad tan elevada no se refiere a la totalidad de las inversiones que inciden sobre la superficie considerada. Si se tuvieran en cuenta las inversiones correspondientes a las obras de riego, caminos, etc. la tasa interna de retorno sería casi con seguridad, muy inferior. Sin embargo, aquí se trata solamente de dilucidar si es rentable o no la recuperación de unas tierras en las que ya se ha realizado una fuerte inversión. Este es el significado de la tasa interna de retorno antes calculada y cuyo elevado valor (30%) demuestra la conveniencia económica de recuperar estas tierras”.

ANEJO Nº 1

CALCULO DEL ESPACIAMIENTO DE DRENES

A. DATOS



A.1: CARACTERÍSTICAS DEL ACUIFERO

$$K = 0'20 \text{ m/d.}$$

$$\mu = 3\%$$

$$D_c = 2 \text{ m.}$$

A.2. DATOS HIDROLÓGICOS

Lluvia (5 veces por año) 30 mm/ 8 horas.

Riego:

Dosis. 70 mm (700 m³/ha)

Infiltración (40%) S – 28mm

A.3. RESTRICCIONES

A.3.1. TOPOGRAFICAS

Profundidad máxima de los drenes 1'50 mts.

A.3.2. AGRONOMICAS

a) **Epoca de riego.** — La capa freática, después de un riego, puede llegar incluso a la superficie del terreno. Tres días después habrá descendido a 1 m. de profundidad.

b) **Epoca de lluvias.** — Se permitirá que la capa freática llegue a 50 cm. de la superficie 5 veces por año.

B. CALCULOS

B.1. EPOCA DE LLUVIAS

La elevación h_t de la capa freática viene dada por la fórmula siguiente, debida a Kraenjhohh Van de Leur

$$h_t = p \frac{\pi^2}{8} \frac{d}{\mu} \left[1 - \frac{32}{\pi^3} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{n^3} e^{-n^2 b/d} \right]$$

En esta fórmula son datos:

$$h_t = 1'50 - 0'50 = 1'00 \text{ m.}$$

$$p \text{ (infiltración diaria equivalente): } \frac{30}{8} \times 24 = 90 \text{ mm/d} = 0'09 \text{ m/d.}$$

$$\mu = 0'03.$$

$$b = 8h = \frac{8}{24} = 0'33 \text{ d.}$$

$$j = \frac{1}{\pi^2} \times \frac{\mu L^2}{K D}$$

$$D = D_0 + \frac{h}{2} = 2 + \frac{1}{2} = 2'50 \text{ m.}$$

Se tantea con un valor $L = 12 \text{ mts.}$

$j = 0'88 \text{ días, con lo que } h_t = 0,97 \text{ mts.}$ que es aproximadamente la condición impuesta ($h_t = 1'00 \text{ mts.}$).

B.2. EPOCA DE RIEGO

Inmediatamente después del riego, la capa freática se eleva a:

$$h_c = \frac{S}{\mu}$$

al cabo de un tiempo t , bajará hasta una h_t definida por la fórmula siguiente, de Kraienjoff Van de Leur:

$$h_t = \frac{S}{\mu} \cdot \frac{4}{\pi} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{n} e^{-n^2 t/j}$$

Los datos de estas fórmulas son:

$$S = 28 \text{ mm.}$$

$$\mu = 0'03.$$

$$t = 3 \text{ días.}$$

$$h_t = 1'50 - 1'00 = 0'50 \text{ m.}$$

$$j = \frac{1}{\pi^2} \times \frac{\mu L^2}{K D}$$

$$D = D_0 + \frac{h_c + h_t}{4}$$

$$D_0 = 2 \text{ m.}$$

$$h_t = 0'50 \text{ m.}$$

$$h_c = \frac{S}{\mu} = \frac{0'028}{0'03} = 0'93$$

$$D = 2 + \frac{0'93 + 0'50}{4} = 2'36$$

Se tantea con $L = 12 \text{ m.}$

$j = 0'93 \text{ días, con lo que } h_t = 0'05 \text{ m.}$

Es decir, con $L = 12 \text{ m.}$ se satisface ampliamente el criterio de la época de riego.

C. CONCLUSION

Se ha calculado que, en el caso más desfavorable, el espaciamiento entre drenes debe ser de 12 mts. No obstante, para mayor seguridad, se adopta un espaciamiento de 10 mts.

ANEJO Nº 2

CALCULO DE LA RENTABILIDAD ECONOMICA DEL DRENAJE Y DESALINIZACION

1. Presupuesto.
2. Situación "con" la transformación.
3. Situación "sin" la transformación.
4. Cálculo de la rentabilidad.

Afectos del calculo de la rentabilidad económica, se considera una hectárea, estudiando las dos hipótesis "con" y "sin" la transformación y calculando en cada caso la secuencia de beneficios. Asimismo, se calcula la secuencia de inversiones necesarias para la transformación. Con estos datos se calcula mas tarde la tasa interna de retorno, que es el índice mas expresivo de la rentabilidad que se está estudiando.

1. PRESUPUESTO

Obras de drenaje. — Las obras de drenaje se pueden dividir en tres grupos: acondicionamiento de desagües, drenaje subterráneo y subsolado. Veamos los costes respectivos, referidos a una hectárea.

a) **Acondicionamiento de desagües.** — Su coste se estima en 600 Cr/ha.

b) **Drenaje subterráneo.** — Con 1.000 mts. de drenes por ha. y un coste de 4 Cr/ml, el coste por ha es de 4.000 Cr.

c) **Subsolado.** — Su coste se estima en 700 Cr/ha.

Enmiendas. — A falta de los resultados definitivos de los análisis de suelos, incluimos una estimación de las aplicaciones de yeso y de sus costes, valorando la Tm. aplicada a 200 Cr.

Año	Tm/ha	Coste(Cr/ha)
2	10	2.000
4	5	1.000
6	5	1.000

Presupuesto total por hectárea y secuencia de inversiones
(Cifras en Cr)

Año	Acondicionamiento de desagües	Drenaje subterráneo	Subsolado	Enmiendas	Total
1	600	4.000	700	—	5.300
2	—	—	—	2.000	2.000
3	—	—	700	—	700
4	—	—	—	1.000	1.000
5	—	—	700	—	700
6	—	—	—	1.000	1.000
Total	600	4.000	2.100	4.000	10.700

Valor residual a los 20 años: 1.000

2. SITUACION "CON" LA TRANSFORMACION

Para el presente estudio hemos seleccionado dos de los cultivos mas interesantes, que, con la transformación podrán dar las siguientes producciones (cifras en Cr/ha):

Cultivos	Producción (kg/ha)	Precio	Ingresos	Costes	Beneficio
Algodón	2.000	2'3	4.600	2.765	1.835
Arroz	4.500	1'9	8.550	2.900	5.650

Sin embargo estas producciones y beneficios no se alcanzaran el primer año, sino que seguirán unas secuencias del orden de las que se muestran en los cuadros siguientes, elaborados a partir de datos obtenidos practicamente.

ARROZ					
Año Producción					
	%	kg/ha	Ingresos	Costes	Beneficios
2	65	2.925	5.557	2.900	2.657
3	80	3.600	6.840	2.900	3.940
4	95	4.275	8.122	2.900	5.222
5	100	4.500	8.550	2.900	5.650
ALGODON					
4	80	1.600	3.680	2.500	1.180
5	95	1.900	4.370	2.650	1.720
6	100	2.000	4.600	2.765	1.835

En el cuadro siguiente se calculan finalmente los beneficios obtenidos cada año por ha, teniendo en cuenta los porcentajes ocupados por cada cultivo.

Año	Beneficio (Cr/ha)
1 año de la transformación.	
1 ha de arroz (1 cosecha)	2.657
2 1 ha de arroz (2 cosechas) 2x6.577	5.314
3 1 ha de arroz (2 cosechas) 2x3.940	7.880
4 0'7 has de arroz (2 cosechas) x2x5.222	7.311
0'3 has de algodón (2 cosechas)x2x1.180	708
	8.019
5 0'7 has de arroz (2 cosechas)x 2x5.650	7.910
0'3 has de algodón (2 cosechas)x2x1.720	1.032
	8.492
6 y siguientes	
0'7 has de arroz (2 cosechas) x2x5.650	7.910
0'3 has de algodón (2 cosechas)x2x1.835	1.101
	9.011

3. SITUACION "SIN" LA TRANSFORMACION

De no realizarse la transformación, las condiciones productivas empeorarán debido al aumento de la salinidad, o, en el mejor de los casos, permanecerán al nivel actual.

Para facilitar el estudio, se define una hectárea media representativa de la situación siguiente:

- 1º El 10% de la superficie afectada está abandonada.
- 2º El 40% da un rendimiento del 60%.
- 3º El 50% da un rendimiento del 75%.

La media ponderada es: $0'1 \times 0 + 0'4 \times 0'6 + 0'5 \times 0'75 = 0,6$

es decir, la hectárea media da un rendimiento del 60%. Con este rendimiento el algodón no produce beneficios, por lo que no se cultivará. El arroz en cambio produce los siguientes beneficios:

Producción: 0'6x8.550	5.130 Cr/ha
Coste	2.900 Cr/ha
Beneficio	2.300 Cr/ha

Esta cifra se refiere a una sola cosecha. Considerando dos cosechas anuales, los beneficios por ha serán de 2x2.230 = 4.460 Cr/año.

4. CALCULO DE LA RENTABILIDAD

Con los datos anteriores se elabora el cuadro siguiente, en que las cifras representan cruzeiros por ha.

Año	Beneficio "con" (1)	Beneficio "sin" (2)	Incremento de beneficio (3)	Inversiones (4)	Balance (B _t) (3) - (4)
1	2.657	4.460	- 1.803	5.300	-7.103
2	5.314	4.460	854	2.000	-1.146
3	7.880	4.460	3.420	700	2.720
4	8.019	4.460	3.559	1.000	2.559
5	8.492	4.460	4.032	700	3.332
6	9.011	4.460	4.551	1.000	3.551
7 - 20	9.011	4.460	4.551	-	4.551

Valor residual a los 20 años: 1.000

A partir del cuadro anterior se calcula la tasa interna de retorno (T.I.R.), mediante la fórmula:

$$T.I.R. = r$$

$$\sum_{t=0}^{t=25} \frac{B_t}{(1+r)^t} = 0$$

El primer miembro de esta fórmula es un polinomio de grado 25. Su raíz real ha sido calculada por aproximaciones sucesivas, resultando ser ligeramente superior al 30% :

Hay que advertir que esta rentabilidad tan elevada no se refiere a la totalidad de las inversiones que inciden sobre la hectárea considerada. Si se tuvieran en cuenta las inversiones correspondientes a las obras de riego, caminos, etc. la tasa interna de retorno sería mucho menor. Sin embargo, aquí se trata solamente de dilucidar si es rentable la recuperación de unas tierras en las que ya se han realizado unas fuertes inversiones. Este es el significado de la tasa antes calculada y cuyo elevado valor (30%) demuestra la conveniencia económica de recuperar estas tierras.

METODOLOGIA PARA ACOMPANHAMENTO DA EVOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE SAIS EM ÁREAS IRRIGADAS

Tânia A. dos Santos Abreu*

A.A. Millar **

José Ribamar Pereira***

INTRODUÇÃO

As altas concentrações de sais solúveis e sódio trocável observadas em solos de climas semi-áridos e áridos são consequências de condições climáticas, topografia, e natureza do material originário (1). Em áreas irrigadas, em consequência das características físicas e químicas do solo, da qualidade da água e de práticas de manejo, além de outros fatores, podem induzir a um aumento da concentração de sais solúveis na solução do solo e de sódio trocável, limitando assim a produtividade dos solos (1,4).

Quando novas áreas são submetidas à irrigação, normalmente não é dada grande importância à necessidade de práticas de drenagem, acarretando um aumento da concentração de sais solúveis e sódio trocável nos solos, podendo ainda provocar a formação de lençol freático com sérias consequências para as culturas (4).

A qualidade da água e uso de fertilizantes são fatores que devem ser considerados no manejo de áreas irrigadas, pois podem contribuir de modo acentuado para o aumento da salinidade e sódio trocável nos solos de textura argilosa, com camadas endurecidas e de baixa condutividade hidráulica.

Os sais solúveis em alta concentração afetam o desenvolvimento das plantas sob dois aspectos: aumentando a pressão osmótica do meio, diminuindo assim a disponibilidade de água para as plantas e efeito tóxico (1), reduzindo a produtividade dos cultivos. Uma alta concentração de sódio trocável provoca uma dispersão dos colóides do solo, dificultando o movimento da água, criando condições desfavoráveis para o desenvolvimento radicular e atividade microbológica devido a aeração deficiente, além de induzir a um pH elevado, provocando desequilíbrio nutricionais para a maioria das plantas cultivadas (1,5).

Tendo em vista possíveis problemas relacionados com o aumento de salinidade em áreas irrigadas no Nordeste, foi realizado este trabalho no Perímetro Irrigado de Mandacaru, com a finalidade de testar uma metodologia para acompanhamento da evolução dos solos submetidos a regime de irrigação intensiva.

MATERIAIS E MÉTODOS

O Projeto Mandacaru da Superintendência do Vale do São Francisco (SUVALE), situado em Juazeiro, BA., possui uma topografia plana com uma declividade que não excede a 0,2%. Os vertissolos constituem quase que totalmente os solos do perímetro, com excessão de apenas uma pequena área de solo bruno não cálcico (2).

O clima tem como características principais, elevadas e constantes temperaturas, baixa umidade relativa, altos índices de evaporação, ventos fortes e baixa precipitação (2).

A água usada na irrigação é proveniente do Rio São Francisco, que está classificada na categoria C¹S₁ (Tabela 1), de acordo com o Laboratório de Salinidade do USDA (4).

As amostras foram tomadas em quadrículas de 125 metros, a profundidade de 0 a 30 e 30 a 60 cm totalizando 669 amostras. No laboratório, foram preparadas e as seguintes análises químicas realizadas: condutividade elétrica do extrato de saturação, pH em água na relação 1:1 após um período de repouso de 24 horas, cálcio e magnésio extraídos com cloreto de potássio 1N e titulado com EDTA, sódio e potássio foram extraídos com solução de acetato de amônio 1N, pH 7 e determinados em aparelho de absorção atômica (4).

* Engenheira Agrônoma, Estagiária do Convênio MINTER/IICA. Escritório da SUDENE, Petrolina -PE.

** Engenheiro Agrônomo, Ph.D. — Especialista em Irrigação do IICA. Escritório da SUDENE, Petrolina-PE.

***Engenheiro Agrônomo, M.Sc. — Chefe do Laboratório de Solos do Departamento de Recursos Naturais — Divisão de Estudos Integrados — SUDENE, Petrolina - PE.

Tabela 1. Características químicas da água do Rio São Francisco em amostras coletadas em frente à Estação Experimental de Mandacaru.

pH	7,3
CE x 10 ³ a 25°C	0,061
Ca ⁺⁺ (ppm)	8,0
Mg ⁺⁺ (ppm)	2,4
Na ⁺ (ppm)	1,38
K ⁺ (ppm)	0,80
Cl ⁻ (ppm)	10,0
SO ₄ ⁼ (ppm)	8,6
CO ₃ ⁼ (ppm)	0
HCO ₃ ⁻ (ppm)	30,6
RS (ppm)	75
RM (ppm)	60
S (ppm)	15
RAS	0,11

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises químicas do solo constam das Tabelas de 2 a 7. Para cada uma das diferentes determinações fixaram-se faixas de variação e calculou-se a distribuição das amostras, em percentagem, dentro dessas faixas.

De acordo com os resultados das análises químicas verificou-se que a condutividade elétrica do extrato de saturação e a percentagem de sódio trocável revelaram que apenas cerca de 1% das amostras apresentavam condutividade elétrica maior do que 4 mmhos/cm e percentagem de sódio trocável maior do que 15, isto considerando as amostras de 0 a 30 e 30 a 60 cm de profundidade. O pH variou de neutro a alcalino em cerca de 80% das amostras. No restante a reação foi ligeiramente ácida.

O valor de S é alto, isto é devido as características dos solos. Cerca de 90% das amostras possuem cálcio trocável entre 5 e 30 meq/100 g de solo, e 95% possuem magnésio trocável entre 1 e mais de 5 meq/100 g de solo. Os teores de potássio variaram entre 0,10 a 0,30 meq/100 g de solo em 80% das amostras.

Em função desse levantamento verificou-se que no momento não há problemas relacionados com sais solúveis e sódio trocável no Perímetro Irrigado de Mandacaru, entretanto, devido às características físicas do solo que na sua maioria é de textura argilosa e com drenagem interna deficiente (3), poderá ocorrer no futuro um aumento da concentração de sais solúveis e sódio trocável acarretando assim sérios transtornos para a exploração dessa área sob condições de irrigação.

Tabela 2. Distribuição da condutividade elétrica em amostras de duas profundidades do vertissolo.

Profundidade	< 0,5	0,5-0,9	1,0-1,9	2,0-3,9	≥ 4
cm	% de Amostras				
0 - 30	77,68	16,37	3,87	1,78	0,30
30 - 60	79,58	11,71	6,61	1,20	0,90

Tabela 3. Distribuição do pH em amostras provenientes de duas profundidades do vertissolo.

Profundidade cm	pH			
	< 6,0	6,0-6,9	7,0-7,9	≥ 8,0
	Z de Amostras			
0 - 30	2,68	17,26	55,36	24,70
30 - 60	2,10	18,62	45,05	34,23

Tabela 4. Distribuição de Cálcio nas amostras do vertissolo.

Profundidade cm	Ca ⁺⁺ (meq/100 g)					
	< 5,0	5,0-9,9	10,0-14,9	15,0-19,9	20,0-29,4	≥ 30
	Z de Amostras					
0 - 30	9,52	19,94	22,62	20,24	23,81	3,87
30 - 60	8,11	17,11	21,54	24,11	25,53	3,60

Tabela 5. Distribuição de Magnésio nas amostras do vertissolo.

Profundidade cm	Mg ⁺⁺ (meq/100 g)			
	< 1,0	1,0-2,4	2,5-4,9	≥ 5
	Z de Amostras			
0 - 30	4,17	26,49	28,87	40,47
30 - 60	3,00	24,32	30,03	42,65

Tabela 6. Distribuição de sódio nas amostras do vertissolo.

Profundidade cm	Z Na ⁺ (meq/100 g)	
	< 15	≥ 15
	Z das Amostras	
0 - 30	98,51	1,49
30 - 60	95,20	4,80

Tabela 7. Distribuição de potássio nas amostras do vertissolo.

Profundidade cm	K ⁺ (meq/100 g)			
	< 0,10	0,10-0,19	0,20-0,29	≥ 0,30
	% de Amostras			
0 - 30	6,85	44,05	28,27	20,83
30 - 60	30,63	48,05	13,21	8,11

Apesar da água utilizada não oferecer nenhum perigo ao incremento de sais solúveis e sódio trocável no solo, práticas de manejo adequados visando a conservação ou melhoramento das características físicas e químicas do solo devem ser levadas em consideração na exploração dessas áreas, pois com o uso contínuo poderá ocorrer um aumento na concentração de sais e sódio trocável com sérias conseqüências para o futuro do empreendimento.

Sugere-se que seja feito um acompanhamento da evolução dos solos com relação a salinidade e percentagem de sódio trocável em períodos de 5 anos e ao mesmo tempo conscientizar o colono com relação a possíveis problemas no futuro devido ao manejo inadequado de solo e água.

Os dados obtidos das análises permitem traçar mapas de isolinhas da característica química, que mostram as áreas com maiores problemas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BLACK, C.A. 1968. Soil Plant Relationships, 2—— ed. John Willey & Sons Inc. New York, USA. 792 p.
2. FAO/PNUD. 1971. Estudios de Irrigación e Ingenieria. Estudios de la Cuenca del Rio São Francisco (Segunda Etapa). Roma, FAO/PNUD. 301 p. (Informe Técnico 4, AGL: SF/BRA 19).
3. QUEIROZ FILHO, S. C. de, A. A. MILLAR e M. BOERS. 1975. Características da Infiltração dos Vertissolos do Sub-Médio São Francisco. 14 p. (Apresentado no XV Congresso Brasileiro da Ciência do Solo, julho 1975).
4. RICHARDS, L. A. 1962. Diagnóstico y rehabilitacion de suelos salinos y sódicos. México. Editorial Cultura, T.G.S.A., Manual de Agricultura nº 60. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos da América. 172 p.
5. ZYLSTRA, G. & SALINAS, H. YAP. 1972. Salinidad y Drenaje en zonas bajo riego. Petrolina (PE). GEIDA/SUDENE-IICA/CIDIAT. 30 p.

RESSALINIZAÇÃO – UM PROBLEMA DECISIVO NO MELHORAMENTO DE SOLOS SALINOS PARA IRRIGAÇÃO – (exposto em resultados de pesquisas realizadas em um equipamento especial lisimétrico com um monolito de solo imperturbado).

H. R. Lenthe*

A necessidade hodierna mundial para a elevação dos produtos alimentícios, obriga, em regiões áridas a extensão das áreas de irrigação. As primeiras áreas a serem irrigadas foram provavelmente vales e deltas dos rios, mais tarde estendeu-se a irrigação também para regiões de maior altitude. Hoje, pode-se partir com segurança do fato de que a maioria dos solos bons e não influenciados pelo sal, já se encontram desenvolvidos. Por isso, exige a extensão da irrigação, também a inclusão, melhoramento e exploração de solos salinos. Avaliações mostram, que solos salinos de diversos tipos em áreas irrigadas têm uma extensão de 20.000.000 ha – equivalente a todas as áreas irrigadas dos EUA e da União Soviética juntas (KOVDA, BERG & HAGAN, 1975).

A medida fundamental para dessalinização consiste na lavagem do solo, medida pela qual os sais são solvidos e armazenados nos horizontes superiores para os inferiores do solo. Uma durável dessalinização só é certamente possível, quando os sais lavados são carreados, não somente de cima para baixo, mas no seu total deslocamento para fora, através de um perfeito sistema de drenagem. No entanto, em grandes áreas prejudica frequentemente a insuficiente impermeabilidade e as más condições de drenagem a instalação deste sistema. Quando não se puder efetuar uma drenagem, ou quando colocação de tubos de drenagem não puder ser executada abaixo da “profundidade crítica”, deve-se contar sempre com um crescimento novo de água capilar e sal, que além disso poderá ser intensificado com um crescente nível de água subterrânea após o início da irrigação.

O problema da ressalinização de solos salinos lavados, assume por isso na exploração e no melhoramento grande significado em áreas desfavoráveis à drenagem.

Uma vez que, até então, são conhecidas poucas publicações do mercado literário internacional para essa complexa questão, recebeu o autor no período de 1970 a 1973, do Instituto de Águas e Sistemas de Melhoramentos da Universidade Kiel, Alemanha, o encargo de efetuar para esse problema pesquisas na região semi-árida do sul da Itália. O objetivo de trabalho foi conseguir informações mais detalhadas sobre as escalas quantitativas e periódicas de processamentos de ressalinização em níveis de águas subterrâneas mutáveis e conteúdo salino de águas subterrâneas, bem como em diversas coberturas de solo para diminuição de evaporação.

Para isso foi instalado um equipamento especial lisimétrico, que possibilitou regular em dois monolitos de solos imperturbados cada um de 36 m² de superfície, tanto um nível constante de água subterrânea, quanto um conteúdo qualquer salino de água subterrânea, durante diversos períodos de ressalinização. A figura 2 mostra um corte transversal esquemático da instalação o qual explica o modo de funcionamento. A textura dos monolitos de solo foi barro limoso. Em todos os experimentos a superfície dos solos estava sem vegetação e sem ser trabalhada. Um período de ressalinização – iniciado após uma lavagem de solo – foi analisado cada vez pelo espaço em que evaporavam 100 mm de um tanque (Class, A Standard Pan); um período compreendeu 15 a 20 dias). As medições de evaporação potencial (PE) foram feitas excluindo as variadas intensidades de salinização efetuadas através da atmosfera. Além disso pôde ser analisada num terceiro monolito a evaporação atual (AE) que se apresentava durante o período de ressalinização como uma grandeza diretamente influenciada pelo aumento do sal. Isto tornou possível que se fizesse uma comparação entre o enriquecimento salino conseguido e surgido em todo o perfil, com aquele básico da evaporação atual, quantia esperada teoricamente.

Experimentos com o nível variando a água subterrânea, e variando a concentração de sal na água subterrânea.

Os resultados mostram influências do nível de água subterrânea e conteúdo salino de água subterrânea, em dados quantitativos sobre as previsões de enriquecimento salino, maior ou menor durante os níveis de água subterrânea, decrescentes ou ascendentes, bem como conteúdos salinos nessas águas.

Na tabela nº 1 são apresentados os valores médios das quantidades de sal, enriquecidas nas diversas séries da pesquisa. Eles significam a quantidade de sal que se enriqueceu entre o nível de água subterrânea e a superfície de solo durante o período da evaporação potencial de 100 mm.

*Engenheiro Agrônomo, Perito da Cooperação Técnica do Acordo Brasil-República Federativa da Alemanha – Missão Hidrogeológica Alemã. SUDENE, Recife - PE.

H. R. Lenth

A necessidade mundial para a elevação dos produtos alimentícios, fibras, em regiões áridas e semi-áridas, tem levado a uma expansão das áreas de irrigação. As primeiras áreas a serem irrigadas foram provavelmente vales e deltas dos rios, mais tarde estendeu-se a irrigação também para regiões de montanhas. Hoje, pode-se partir com segurança de fato de que a maioria dos solos bons e não influenciados pela salinidade se encontram desérticos. Por isso, a irrigação, também a inclusão, melhoramento e drenagem de solos salinos. Avaliações mostram que solos salinos de diversos tipos em áreas irrigadas têm uma perda de 20.000.000 ha – equivalente a três vezes a área irrigada das EUA e da União Soviética juntas (KNOX, 1975).

A maioria dos solos salinos são lavados e a irrigação é uma das maneiras de lavar os solos. A irrigação com água doce, porém, não é suficiente para lavar os solos salinos. A irrigação com água salgada, porém, não é suficiente para lavar os solos salinos. A irrigação com água doce, porém, não é suficiente para lavar os solos salinos. A irrigação com água salgada, porém, não é suficiente para lavar os solos salinos.

O problema de ressalinização de solos salinos lavados com água doce é um problema sério. A irrigação com água doce, porém, não é suficiente para lavar os solos salinos. A irrigação com água salgada, porém, não é suficiente para lavar os solos salinos.

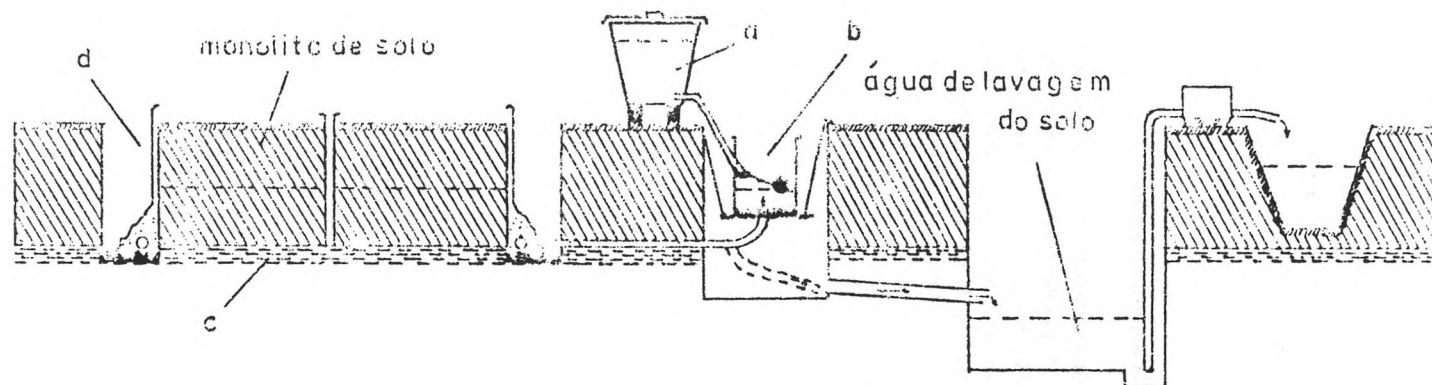
Uma vez que, em áreas salinas, a irrigação com água doce não é suficiente para lavar os solos salinos, a irrigação com água salgada, porém, não é suficiente para lavar os solos salinos. A irrigação com água doce, porém, não é suficiente para lavar os solos salinos. A irrigação com água salgada, porém, não é suficiente para lavar os solos salinos.

Para isso foi instalado um equipamento especial para lavar os solos salinos. A irrigação com água doce, porém, não é suficiente para lavar os solos salinos. A irrigação com água salgada, porém, não é suficiente para lavar os solos salinos.

Os resultados mostram que a irrigação com água doce não é suficiente para lavar os solos salinos. A irrigação com água salgada, porém, não é suficiente para lavar os solos salinos. A irrigação com água doce, porém, não é suficiente para lavar os solos salinos. A irrigação com água salgada, porém, não é suficiente para lavar os solos salinos.

Fig.1 Gráfico indicando o movimento da água e sal no solo

(modificado segundo DOERING, 1964)



- a) Depósito de água subterrânea (enriquecimento artificial de NaCl)
- b) Vaso móvel com válvola de bóia para regular o nível de água subt.
- c) Horizonte impermeável, tecido de argilla / calafetagem horizontal do monolito)
- d) Fossa de obras
com tubo perfurado (distribuição e escoamento de água subt.)
com folha plastica (calafetagem vertical do monolito)

Fig. 2 Corte transversal esquemático do equipamento lisimétrico

Tabela nº 1: Valores médios das quantidades de sal enriquecidas, calculados em g sal/m³ solo

	Concentração de sal da água subterrânea	
	3,75 g/l	15 g/l
100 cm	178 (135) *	345 (475) *
70 cm	314 (273) *	845 (960) *
40 cm	830 (645) *	2007 (2238) *

* = valores teoricamente previstos baseados nas AE medidas.

Os valores do enriquecimento de sal deixam-se interpretar da seguinte maneira:

Uma comparação dos valores pesquisados com os valores teoricamente previstos, baseados nas medições de evaporação atual (AE), apresentou uma boa correspondência, o que confirma os resultados. Todos os experimentos mostram que, após poucos dias depois da última aplicação de água de lavagem ou de irrigação, se pôde contar com um enriquecimento de sal, quando existem condições desfavoráveis de solo e de água. Além disso os resultados permitem uma idéia sobre a quantidade do enriquecimento de sal sob certas condições. Se os valores em grama de sal/m³ de solo são calculados em % de sal no solo, resultam enriquecimentos percentuais de conteúdo salino de 0,012% (experimento 100 cm/3,75 g/l) até 0,13% (experimento 40 cm/15 g/l). Percebe-se, por este modo de observação, com que rapidez o conteúdo do sal se aproxima do valor que causa danos à vegetação. O valor limite para danificação da vegetação é geralmente da ordem de 0,3%. Deve-se tomar em consideração que o enriquecimento de sal acontece nos horizontes de solo mais altos e, assim, a concentração salina nestes horizontes ainda é maior. Este rápido enriquecimento de sal após uma lavagem de solo também foi verificado em experimentos de campo. Assim verificaram, por exemplo, LUEKEN e NITSCH (1970) na Jordânia, 15 dias após a última aplicação de água, uma ascensão da salinidade de 3 mmhos. GRUENBERG (1974) relata sobre aumentos de salinidade na zona principal de raízes de 6 mmhos, depois de 60 dias após o fim da lavagem de solo.

O fato do rápido aumento da salinidade significa para a prática da agricultura irrigada em regiões desfavoráveis, que se deve trabalhar com intervalos muito curtos de irrigação. Segundo GRUENBERG (1974), deve-se contar, sob certas condições, com intervalos de 6 a 7 dias. Se a quantidade de água irrigada não for calculada exatamente, uma irrigação tão freqüente pode causar uma elevação do nível de água subterrânea. Uma comparação dos valores de enriquecimento de sal dos experimentos com concentrações iguais de sal da água subterrânea e uma elevação do nível de água subterrânea mostra com quais ordens de grandeza de uma salinização maior se deve contar. Num experimento com 3,75 g de sal por litro e uma elevação do nível de água subterrânea de 100 cm para 70 cm e 40 cm, a salinização foi 1,8 e 4,7 vezes maior respectivamente, em comparação com os valores com um nível de água subterrânea de 100 cm. Nos testes de 15 g de sal por litro, as condições são semelhantes.

Comparando os testes com nível de água subterrânea constante e concentração salina da água subterrânea aumentando, resultam aspectos de salinização totalmente diferentes. Estes casos mostram que numa elevação da concentração salina da água da água subterrânea de 4 vezes, o enriquecimento de sal no solo não é de 4 vezes mas sim menor. Este fenômeno explica-se com a diminuição da evaporação, o que é uma consequência da redução da pressão de vapor, causada pelos sais. Esta lei de física é conhecida, mas sobre as ordens de grandeza de dimensão, há poucos dados. Nestes testes, a redução da evaporação com uma elevação do conteúdo salino de 3,75 g/l a 15 g/l foi cerca de 13%, averiguado através da AE no terceiro monolito. A redução da evaporação é mais acentuada numa evaporação de superfície de solo, do que numa superfície de água livre. Segundo POCVENNOGO (cit. em JANITZKY, 1957) a evaporação de uma solução com 65 g/l de sal é 20% menor em relação à evaporação de água doce, e num monolito com um teor salino da água subterrânea de também 65 g/l, a evaporação é 50 - 70% menor, comparado com água subterrânea sem sais.

Experimentos com cobertura de solo para diminuição da evaporação

Uma cobertura de solo com material de detritos orgânicos é um método muito praticado nos países tropicais contra a dessecação como também contra os danos da erosão. Nestes testes, escolheram-se 2 tipos de cobertura de solo. Uma vez foi usado palha (15 kg/36 m² ou 4,2 t/ha) e a outra vez, uma folha plástica que numa distância de 30 x 30 cm tinha buracos com um diâmetro de 5 cm que seriam para fazer os cultivos.

Os resultados dos testes, realizados com cobertura do solo para diminuição da evaporação, foram os seguintes:

tes: a nível de água subterrânea de 40 cm e concentração de sais na água de 15 g/l o enriquecimento foi de:

sem cobertura	2.007 g/m ³
com cobertura de uma folha de PVC	0 g/m ³
com cobertura de palha	200 g/m ³

Destes valores pode-se deduzir o ótimo efeito de medidas de cobertura de solo. Deve-se alertar, que, já além do uso na prática, este complexo precisa de mais atenção nos testes de campo, de maneira a situar os seguintes problemas: como são as condições abaixo da vegetação? A distribuição do sal no solo altera-se quando o solo está coberto parcialmente (cobertura entre as colunas de plantas) através da influência das raízes de plantas?

Neste complexo deve-se chamar a atenção para as pesquisas de Israel, segundo elas, a tolerância de sal de plantas de culturas é maior e a salinização do solo através do uso da água influenciada pelas marés é evitada ou diminuída quando culturas em fileiras, como por exemplo tomates, são plantadas com cobertura de folha plástica (LUEKEN, 1971). A cobertura da folha evita a evaporação da superfície do solo, aumenta a umidade do ar do ambiente imediato da planta e diminui com isso a transpiração e a demanda de água.

Referências bibliográficas

- BALBA, A.M.: A quantitative study of salinisation and desalinisation of soil columns. *Agrkem. es Talaytan*, 14, 351-58, 1965
- BALBA, A.M. & SOLIMAN, M.F.: Salinisation of homogeneous and layered soil columns due to upward movement of saline ground water and its evaporation. *Agrochimical* 13, 6, 542-50, 1959.
- BONYTHON, C. W.: The influence of salinity upon the rate of natural evaporation, *Climatology and Microclimatology. Proc. of the Canberra Symposium, Unesco, Arid Zone Research* 11, 1958.
- DOERING, J.; REEVE, R.C. & STOCKINGER, K.R.: Salt accumulation and salt distribution as an indicator of evaporation from fallow soil. *Soil Sci.* 312-19, 1964.
- GARDNER, W.R. & FIREMAN, M.: Laboratory studies of evaporation from soil columns in the presence of a water table. *Soil Sci.*, 85, 244, 1957.
- GRUENEBERG, F.H.: Land Use Capability of Saline Desert Soils in Southern Jordan. *Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe*, 1974.
- JANITZKY, P.: Salz – und Alkaliböden und Wege zu ihrer Verbesserung. Schmitz, Giessen, 1957.
- KOVDA, V.A., BERG, C.v.d., HAGAN, R.M., ed.: *Irrigation Drainage and Salinity, an International Source Book*. Hutchinson/FAO/UNESCO, 1973.
- LENTHE, H.R.: Untersuchungen zur Wiederversalzung alluvialer Salzböden auf Versuchsstandorten in der Sibarier-Ebene (Südtalien), Dissertation, Kiel, 1973.
- LUEKEN, H.: Bodenversalzung, in *Handbuch der Landwirtschaft und Ernährung in den Entwicklungsländern*. Ulmer, 1971.
- LUEKEN, H. & NITSCH, M.: Bodenkundliche Untersuchungen Wadi Arja, Jordanien, Zwischenbericht, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, unpublished report.
- WILLIS, W.O.: Evaporation from layered soils in the presence of a water table. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 24, 239-42, 1960
- YEN, S.C.: Study on Evaporation and salinisation of soil with of different depth of saline water table. *Taiwan Sugar Experiment Station*, No. 48, 71-85, 1969.

POSSIBILIDADE DO USO DE ÁGUA SALINA NA RECUPERAÇÃO DE SOLOS SÓDICOS DO PERÍMETRO IRRIGADO DE SÃO GONÇALO.

Zélia Maria Rodrigues Pereira*

1. INTRODUÇÃO:

O problema dos solos salinos e sódicos tem sido preocupação constante dos estudiosos do solo, principalmente dos técnicos ligados a irrigação. A salinidade e o alto teor de sódio trocável limitam a produtividade de extensas áreas de terras necessárias ao cultivo.

Através de séculos, a irrigação nas zonas áridas tem deixado muitos solos salinizados, trazendo sérios problemas para o homem. Atualmente, com o desenvolvimento das áreas irrigadas, é de grande importância manter-se a fertilidade dessas terras, bem como recuperar-se os solos que se tornaram improdutivos.

O Perímetro Irrigado de São Gonçalo, situado na bacia do Rio Piranhas, no município de Sousa, Paraíba, tem uma superfície de 4.600 ha, sendo que a área útil considerada é de apenas 2.680 ha. Da área útil total, 35% tem sérios problemas de alcalinização.

A argila dispersa dos solos sódicos diminui consideravelmente a capacidade de movimento da água através do solo, e no Perímetro de São Gonçalo com 67% de sua área com uma permeabilidade que varia de lenta a nula, torna-se extremamente difícil a recuperação desses solos.

Sendo um terço da área útil do Projeto São Gonçalo representada por solos com problemas de alcalinização, e contando essa área com uma infra-estrutura de irrigação já instalada, faz-se necessário pesquisas em laboratório ou em campo, visando a correção e utilização desses solos.

Pretende-se com este trabalho, baseado em estudos de REEVE Y BOWER (8), verificar a possibilidade de se iniciar a lavagem de solos sódicos do Perímetro de São Gonçalo com água de uma elevada concentração eletrolítica, com a finalidade de aumentar a permeabilidade dos mesmos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. — Origem e Classificação dos solos sódicos e salinos — sódicos

Segundo várias referências (1,4,7), os sais dos solos podem ter diversas origens. Em alguns casos estavam presentes na rocha mãe, ou resultam da ação do intemperismo da água sobre tais rochas, quando a precipitação pluviométrica não é suficientemente abundante para removê-los. Outras vezes provem da água do mar — maresia, depósitos marinhos formados em outras épocas ou zonas sujeitas a inundações marítimas. Podem vir de eflorescências salinas de outros solos, trazidos pelo vento, ou serem provenientes do lençol freático, quando ascendem à superfície pela ação da capilaridade, havendo a acumulação de sais no solo ao evaporar-se a água. Outras vezes os sais estão contidos nas águas correntes e nas águas de irrigação, provocando, desde que não haja lixiviação, a salinidade dos solos.

Os cátions sódio, cálcio e magnésio e os ânions cloreto e sulfato constituem os principais sais existentes na solução do solo (7).

De acordo com WIKLANDER, citado por BONNET (1) os cátions não estão retidos com a mesma intensidade pelos colóides do solo. Seu poder de deslocamento depende de sua concentração relativa na solução do solo e da natureza do cátion — quanto maior a densidade de carga e menor o grau de hidratação, maior a força que retém o cátion na micela.

Nas regiões úmidas, onde há intensa lixiviação, há dominância dos cátions hidrogênio e cálcio, seguidos de magnésio, potássio e sódio.

Nas regiões áridas bem drenadas, os cátions cálcio e magnésio predominam, seguidos de sódio, potássio e hidrogênio. Quando é insuficiente a drenagem nessas regiões, há acumulação de sais alcalinos, e o cátion sódio desloca o cálcio, dando origem a solos sódicos (2).

* Engº Agrº DA DIVISÃO DE ESTUDOS E PROJETOS
3º DIRETORIA REGIONAL DNOCS, RECIFE, PE

Segundo KELLEY (6) se a relação entre o sódio solúvel e cálcio ou cálcio mais magnésio solúveis não ultrapassar a 2, a adsorção do sódio pelo complexo sortivo do solo se verificará apenas em grau limitado, mesmo quando a concentração total de sais for elevada.

Quando os sais se acumulam nos solos, afetando somente a floculação do complexo argila – humos, o desenvolvimento da vegetação do solo e microflora, bem como seu conteúdo de matéria orgânica, denominamos esses solos de salinos ou “Solonchaks”. A condutividade elétrica do extrato de saturação é maior que 4mmhos/cm a 25°C, a percentagem de sódio trocável é menor que 15 e o pH, geralmente, menor que 8,5 (7).

Os solos sódicos ricos em sais são chamados salinos-sódicos. A condutividade elétrica do extrato de saturação é maior que 4 mmhos/cm a 25°C, a percentagem de sódio trocável é maior que 15 e o pH raramente é maior que 8,5 (7).

Quando o excesso de sais dos solos salinos – sódicos é lavado, à medida que a concentração de sais diminui na solução do solo, parte do sódio trocável se hidrolisa, formando hidróxido de sódio, que pode transformar-se em carbonato de sódio. As partículas coloidais tendem a se dispersar e a matéria orgânica pode depositar-se na superfície devido a evaporação, causando um enegrecimento – álcali negro. A argila dispersa pode se acumular nas camadas inferiores, havendo formação de um sub-horizonte denso. Após períodos de umedecimentos e secagens alternados, há a formação de estrutura prismática ou colunar. Este solo é denominado sódico ou “Solonetz”. A condutividade elétrica do extrato de saturação é menor que 4 mmhos/cm a 25°C, a percentagem de sódio trocável maior que 15 e o pH maior que 8,5 (7).

KELLEY (6) descreve que continuando a lavagem, a parte superior do perfil pode tornar-se ácida, pela substituição do sódio pelo hidrogênio – degradação – a não ser que um considerável teor de CaCO_3 se encontre presente no solo.

Nos solos alcalinos degradados, ou “Soloths”, resultantes da degradação dos solos sódicos, o complexo de troca é quimicamente instável. SiO_2 amorfo torna-se livre por decomposição, podendo permanecer na parte superior de perfil do solo dando uma coloração clara, ou acumular-se nos limites entre os horizontes A e B, ou mais abaixo. A illita e montmorilonita desaparecem, surgindo a caulinita ou os óxidos hidratados (4).

2.2 – Recuperação dos solos sódicos.

Na recuperação desses solos é necessário estabelecer um programa experimental específico para cada caso.

Experimentos de laboratório podem ser planejados para suplementar dados coletados e ajudar a selecionar métodos. Esses experimentos, em amostras indeformadas ou deformadas, são apenas aproximações de experimentos de campo, mas, servem como guia útil para selecionar métodos de recuperação no campo (4).

Na correção dos solos sódicos, procura-se substituir o sódio do complexo de troca pelo cálcio, transformando a argila sódica em argila cálcica.

Dentre os corretivos empregados na correção dos solos sódicos, o gesso é o mais usado.

O cloreto de sódio, de alta solubridade, poderia ser utilizado mas seu emprego é inviável, devido ao alto custo do produto. (4).

O enxofre e outros componentes à base de enxofre, são materiais inertes até serem oxidados – enxofre, ácido sulfúrico ou sofrerem hidrólise – sulfato de ferro e sulfato de alumínio – pela ação dos microorganismos do solo. Estas transformações requerem tempo, e a demora da reação e a forte acidez que ocorre pode ocasionar danos às raízes dos vegetais. (4).

O calcáreo não é considerado como corretivo eficiente na recuperação da maioria dos solos quando usado sozinho. Sua solubilidade é muito baixa, sendo sua ação bastante lenta. Pode ser utilizado, porém, em solos ácidos “solodized solonetz” (4).

De acordo com KELLEY (6), quando o gesso é incorporado ao solo sódico, duas reações químicas podem ocorrer.

- Os ions de cálcio deslocam os ions de sódio, convertendo a argila sódica em cálcica.
- O gesso tende a reagir com o Na_2CO_3 freqüentemente presente nos solos sódicos, resultando em CaCO_3 e Na_2SO_4 , que deve ser lixiviado.

Devido a dispersão da argila nos solos sódicos, há uma diminuição considerável na permeabilidade destes solos. Se a água não penetra no solo, não é possível corrigi-lo, mesmo quando se tenha adicionado cálcio a ele, ou se tal composto já exista no solo (4).

De acordo com o Relatório de Recuperação Hidroagrícola da Bacia de Irrigação de São Gonçalo (5), é grave o problema da má permeabilidade da maioria dos solos desse Perímetro, Sendo que 67% da área do Projeto tem permeabilidade lenta, ou seja, menor que 5 mm/h, com grande parte destes solos tendo permeabilidade igual a zero. Estes solos de permeabilidade lenta apresentam-se em grandes blocos.

O QUADRO I apresenta os dados retirados do referido Relatório.

QUADRO I

DISTRIBUIÇÃO DA ÁREA DO PERÍMETRO SÃO GONÇALO, QUANTO À PERMEABILIDADE

Superfície (ha)	%	K (mm/h)
2.530	58	0
390	9	1 – 5
1.140	26	5 – 60
310	7	maior que 60
4.370	100	

A velocidade de transmissão da água através de um solo sódico depende consideravelmente da concentração eletrolítica da água. Desta maneira, a lavagem desses solos pode ser facilitada ou iniciada com água de alto conteúdo eletrolítico, pois os sais agindo como floculantes aumentam a permeabilidade do solo (4).

Há também o problema da pouca solubilidade do gesso, que limita sua eficiência em alguns casos, e o cloreto de sódio, contido na água salina, produz um aumento na solubilidade do gesso, como salienta SOUZA (9).

Existem reações de equilíbrio entre os cations da solução do solo e os adsorvidos no complexo de troca do solo. Destas reações depende a necessidade de se usar melhoradores para se modificar os níveis de cations trocáveis do solo.

As determinações diretas mostram que quando os solos são lavados com solução de sais que contêm cations mono e divalentes, até que se estabeleça o equilíbrio entre o solo e a solução, as proporções dos cations trocáveis mono e divalentes variam segundo seja a concentração total de cations e a relação entre os cations mono e divalentes da solução de sais (7).

GAPON em 1933, MATTSON e WILKLANDER em 1940, DAVIS em 1945 e SCHOFIELD em 1947, propuseram que a influência da concentração total de cations deve ser levada em consideração, para se obter uma relação linear com a relação entre cations intercambiáveis monovalentes e divalentes, quando a concentração molar do cation monovalente solúvel se divide pela raíz quadrada da concentração molar do cation divalente (7).

A Relação de Adsorção de Sódio pode se exprimir da seguinte forma:

$$RAS = \sqrt{\frac{Na^{+}}{\frac{Ca^{++}}{2} + \frac{Mg^{++}}{4}}}$$

Sendo a concentração iônica expressa em me/1.

Há uma relação muito aproximada entre o RAS (Relação de Adsorção de Sódio) da solução do solo e o PSI (Porcento de Sódio Intercambiável).

Equação que dá o valor PSI:

$$PSI = \frac{100 (-0,0126 + 0,01475 RAS)}{1 + (-0,0126 + 0,01475 RAS)}$$

KELLEY (6) afirma que o sistema de drenagem é muito importante na recuperação de solos, e esta persistirá somente se o lençol freático permanecer abaixo da zona das raízes.

3. MATERIAL E MÉTODO

O trabalho experimental foi realizado em laboratório, usando-se amostras de solo com estrutura deformada.

Utilizou-se duas amostras de solo procedentes do Perímetro Irrigado de São Gonçalo, cujas características são apresentadas no QUADRO II.

Utilizou-se na lavagem dos solos, a água do Açude Público São Gonçalo, que é usada na irrigação do Perímetro, e a água do poço C₃, localizado na área de solos sódicos e salinos — sódicos do Perímetro de São Gonçalo, a várias diluições com a água do açude.

No QUADRO III apresenta-se as características das águas empregadas na lavagem dos solos.

QUADRO III

CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS UTILIZADAS NA LAVAGEM DOS SOLOS

Amostra	CE a 25°C (mmhos/cm)	Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺ (me/l)	Na ⁺ (me/l)	Alcalini- dade Total (me/l)	CSR	pH	RAS
Açude	0,2	1,40	0,92	1,72	0,32	7,0	1,1
Poço C ₃	13,0	0,72	116,76	48,56	47,84	9,0	194,6
1 + 1	7,0	1,00	58,38	23,72	22,72	9,0	82,6
1 + 3	3,7	1,20	29,70	12,72	11,52	9,0	38,3
1 + 7	2,0	1,32	15,25	7,20	5,88	8,5	18,8
1 + 15	1,2	1,32	7,45	4,48	3,16	8,0	9,2

O Carbonato de Sódio Residual (CSR) é a diferença entre a alcalinidade total e o teor de cálcio mais magnésio.

A necessidade de gesso foi determinada em laboratório, e a aplicação do gesso foi efetuada de três vezes, sendo a 1ª dose colocada juntamente com o solo, no preparo das colunas de solo, a 2ª dose ao ser empregada a diluição 1+3 e a 3ª dose ao receber a diluição 1+7.

No tratamento II, em que o solo foi lavado apenas com a água do açude, as doses de gesso foram aplicadas com um intervalo de 7 dias.

Em tubos plásticos transparentes, de 20 cm de comprimento e 2,5 cm de diâmetro interno, fechados numa das extremidades por uma tela de arame, colocou-se 70,0g de solo, seco ao ar e passado em peneira com malhas de 2 mm de abertura.

3.1 — Preparo das colunas de solo

O preparo das colunas de solo obedeceu a metodologia recomendada pelo BUREAU OF RECLAMATION.

Colocou-se papel de filtro em cima da tela de arame dentro de cada tubo plástico, depois uma camada de 3 cm de espessura de areia grossa lavada. Sobre a areia grossa derramou-se um terço do solo. Fez-se a compactação desta camada, soltando o tubo 20 vezes a uma altura de 2,5 cm sobre um pedaço de borracha. Sucessivamente colocou-se as outras duas camadas procedendo-se da mesma maneira. Na última camada de solo se pôs a 1ª dose de gesso. Sobre a coluna de solo foi colocada uma outra camada de areia grossa lavada, a fim de evitar que a superfície do solo se alterasse ao receber a água.

Os tubos, assim preparados, foram postos em um suporte de madeira apropriado. Colocou-se balões de 500 ml, fechados com rolha de borracha perfurada com tubo de vidro, e contendo a água a ser utilizada na lavagem dos solos, invertidos na extremidade superior de cada tubo plástico.

Abaixo de cada tubo, colocou-se um bequer para receber a água percolada.

3.2 — Trabalho experimental

O trabalho experimental constou de dois tratamentos.

O tratamento I a lavagem de cada solo foi iniciada com a diluição 1+1 passando-se sucessivamente por cada diluição até a água de menor concentração eletrolítica.

Para cada classe de água a lavagem efetuou-se até que a água percolada apresentasse a mesma condutividade elétrica da água aplicada, ou quando a condutividade hidráulica se mantivesse constante por um Período de 24 horas.

No tratamento II utilizou-se a água do Açude Público São Gonçalo, usada na irrigação do Perímetro.

Nos dois tratamentos, a dosagem do gesso empregada em cada solo, foi determinada em laboratório.

O QUADRO IV mostra a ordem de lavagem dos solos em cada tratamento.

QUADRO IV

ORDEM DE LAVAGEM DOS SOLOS		
Água Utilizada	Tratamento I	Tratamento II
1 + 1	x	
1 + 3	x	
1 + 7	x	
1 + 15	x	
Açude	x	x

Em cada tratamento, determinou-se no percolado a condutividade elétrica, $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$, e calculou-se o teor de sódio e a Relação de Adsorção de Sódio (RAS). Foi determinada também a condutividade hidráulica.

Ao final do tratamento determinou-se o complexo sortivo das amostras de solo, para se obter a percentagem de Sódio Trocável.

3.3 – Métodos de Análises de Solos e Água

As determinações de bases trocáveis e pH do solo obedeceram às normas descritas por VETTORI (10). A condutividade elétrica foi determinada no extrato de saturação. A análise granulométrica foi feita pelo método da pipeta. A necessidade de gesso e a análise de água seguiram a metodologia do LABORATÓRIO DE SALINIDADE DOS E.E. U.U. (7).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

O QUADRO V mostra os resultados da condutividade hidráulica das colunas de solos, nos tratamentos I e II.

QUADRO V

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA EM mm/h DAS COLUNAS DE SOLO NOS TRATAMENTOS I E II				
Água Utilizada	TRATAMENTO			
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2
1 + 1	1,06	4,92		
1 + 3	0,76	0,52		
1 + 7	0,77	0,62		
1 + 15	1,14	0,40		
A	1,19	0,31	0	0,28

No tratamento II o solo 1 apresentou condutividade hidráulica nula durante todo tratamento. O solo 2, aos 14 dias apresentava uma condutividade hidráulica igual a 0,02 mm/h, que somente aos 22 dias, quando corrigido o solo, elevava-se a 0,28 mm/h.

O tratamento I conseguiu elevar a condutividade hidráulica do solo 1, Franco-Arenoso, e corrigi-lo após um período de 11 dias. Quanto ao solo, 2, Arenoso-Franco, houve uma queda brusca na condutividade hidráulica inicial, sendo necessário se pesquisar um melhor tempo para cada diluição permanecer em contato com o solo.

Observou-se, no tratamento I, o efeito floculante da água de elevada concentração eletrolítica sobre a condutividade hidráulica dos solos, efeito este já discutido por REEVE Y BOWER (8).

Os QUADROS VI e VII mostram as características da água percolada nas amostras 1 e 2 respectivamente, quando submetidas ao tratamento I.

QUADRO VI

CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO DA AMOSTRA 1, NO TRATAMENTO I

Água	CE a 25°C (mmhos/cm)	pH	Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺ (me/l)	Na ⁺ (me/l)	RAS	Tempo de contato solo/água (dias)
1 + 1	7,0	9,0	5,20	64,80	40,2	2
1 + 3	4,7	9,0	3,20	43,80	34,6	4
1 + 7	6,0	9,0	8,00	52,00	26,0	2
1 + 15	3,0	8,0	13,60	16,40	6,3	3
A	0,9	8,0	4,40	4,60	3,1	2
13						

QUADRO VII

CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO DA AMOSTRA 2, NO TRATAMENTO I.

Água	CE a 25°C (mmhos/cm)	pH	Ca ⁺⁺ + mg ⁺⁺ (me/l)	Na ⁺ (me/l)	RAS	Tempo de contato solo/água (dias)
1 + 1	7,0	9,0	5,40	64,60	39,3	1
1 + 3	4,7	9,0	2,80	44,20	37,4	3
1 + 7	3,2	9,0	1,60	30,40	34,0	4
1 + 15	3,2	9,0	1,60	30,40	34,0	2
A	2,6	9,0	3,00	23,00	18,0	3
13						

Na figura 1 pode-se observar a variação do RAS da água percolada nas amostras 1 e 2, no tratamento I, de acordo com o tempo decorrido.

O QUADRO VIII apresenta as características da água de percolação do solo Arenoso — Franco, no final do tratamento II.

QUADRO VIII

CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO DO SOLO ARENOSO – FRANCO, SUBMETIDO AO TRATAMENTO II

Q U A D R O VIII

CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA DE PERCOLAÇÃO DO SOLO ARENOSO FRANCO, SUBMETIDO AO TRATAMENTO II

Água	CE a 25°C (mmhos/cm)	pH	Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺ (me/l)	Na ⁺ (me/l)	RAS	Tempo de contato solo/água (dias)
Açude	2,5	8,0	7,33	17,67	9,3	22

Os dados obtidos demonstram que o solo Franco-Arenoso respondeu satisfatoriamente ao tratamento I, havendo uma diminuição progressiva ao RAS da água percolada, indicando estar ocorrendo a correção do solo.

Quanto ao solo Arenoso-Franco, submetido a esse tratamento, o tempo de contato solo/água não se mostrou adequado. Há uma diminuição do RAS do percolado logo que colocada a dose de gesso. À medida que aumenta o tempo de contato solo/água o RAS da água percolada se eleva, talvez devido ao alto teor de Carbonato de Sódio Residual (CSR) da água aplicada.

Apresentando, a água utilizada, um RAS e um CSR bastante elevados é necessário se investigar o período máximo em que cada diluição pode ficar em contato com o solo, sem causar-lhe danos.

O tratamento II, o RAS do percolado do Solo Arenoso-Franco mostra que ocorreu a correção do solo, apesar deste apresentar uma condutividade hidráulica muito lenta.

O QUADRO IX mostra as características dos solos depois de submetidos aos tratamentos I e II.

QUADRO IX

CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS APÓS OS TRATAMENTOS I E II

Tratamento	Amostra	Complexo sortivo me/100g de solo						100S/T	Na
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	T	V	
								%	%
I	1	7,90	2,01	0,12	0,79	aus.	10,82	100	7,30
	2	3,24	1,52	0,03	1,40	aus.	6,24	100	22,44
II	1	8,33	2,77	0,15	2,12	aus.	13,42	100	15,80
	2	4,48	2,54	0,06	0,56	aus.	7,64	100	7,33

Confirma-se então, que houve uma diminuição considerável da percentagem de sódio trocável do solo Franco-Arenoso, quando submetido ao tratamento I.

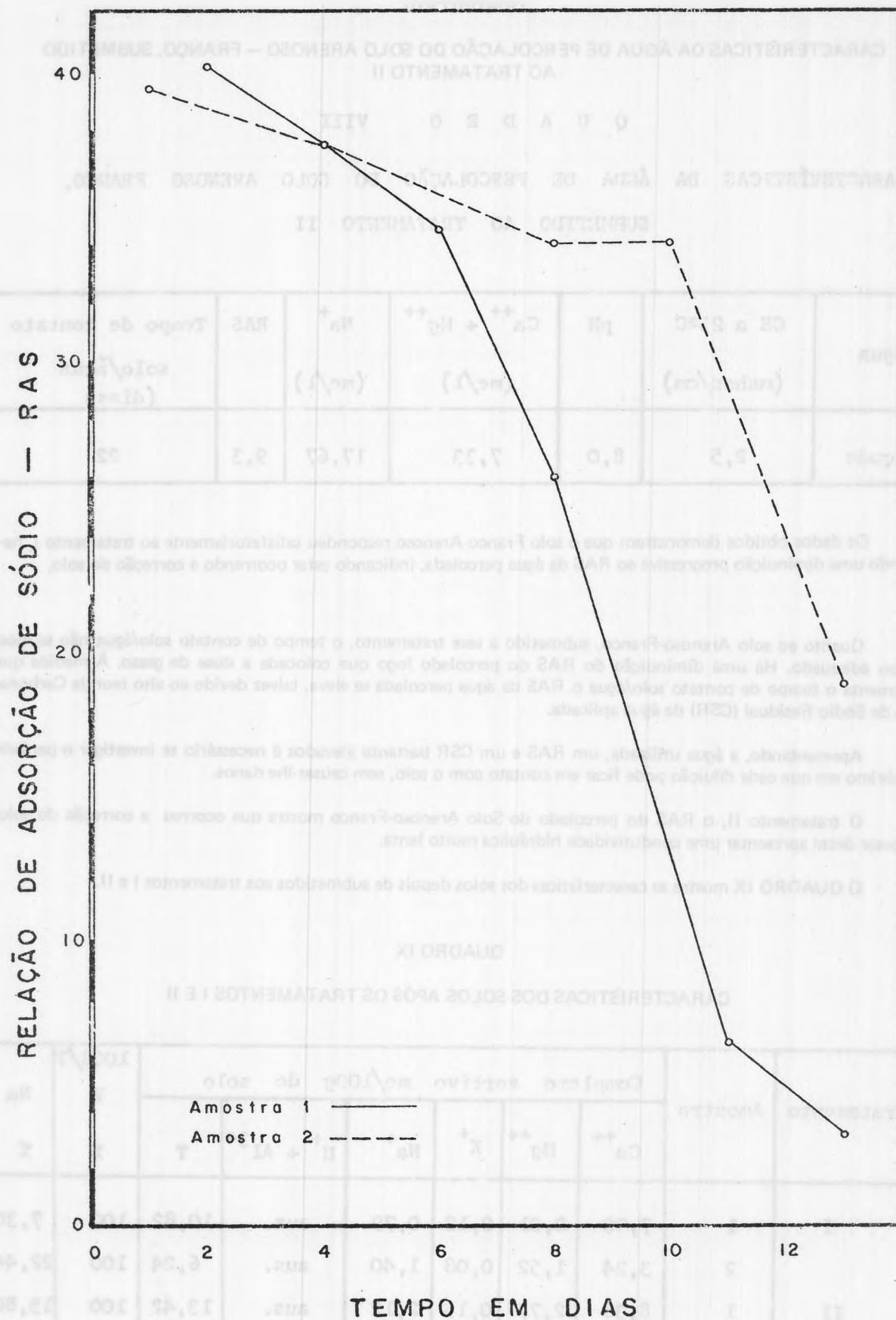


FIGURA 1 — Variação do RAS da água percolada de acordo com o tempo decorrido.

O solo Arenoso-Franco submetido a esse tratamento não obteve sua correção total, sendo necessário, como referido anteriormente, se pesquisar um melhor tempo de contato solo/água.

O solo Franco-Arenoso, no tratamento II, teve a condutividade hidráulica nula durante todo o tratamento, como já foi salientado, apresentando no final manchas enegrecidas dispersas pela coluna de solo — álcali negro. O teor de cálcio apresentou-se elevado devido ao gesso colocado no solo, e que não foi dissolvido pela água de lavagem, interferindo na determinação de cálcio trocável, como se pode verificar pela capacidade de troca mais elevada que a anterior ao tratamento.

Segundo o LABORATÓRIO DE SALINIDADE DOS ESTADOS UNIDOS (7), não é conveniente se determinar o cálcio trocável em solos que contenham gesso, a fim de evitar tal interferência.

O solo Arenoso-Franco foi corrigido pelo tratamento II, porém apresentou mesmo depois da correção, uma condutividade hidráulica muito lenta.

É preciso lembrar que a drenagem em trabalhos de recuperação de solos é muito importante e deve ser bem planejada, para poder eliminar os subprodutos do tratamento e os sais em excesso.

Pretende-se continuar os estudos, utilizando-se colunas de solo com um maior diâmetro, a fim de evitar problemas de expansão da argila, quando se trabalhar com solos que contenham um maior teor deste mineral.

5. CONCLUSÕES:

Os dados obtidos levam às seguintes conclusões:

- Foi possível elevar a condutividade hidráulica dos solos utilizados no presente estudo, iniciando-se sua lavagem com água de elevada concentração eletrolítica.
- Obteve-se a correção do solo Franco-Arenoso com 50,14% de sódio trocável, após um período de 11 dias, tendo-se iniciado sua lavagem com água de alto teor de sais.
- Não se conseguiu a correção total do solo Arenoso-Franco, com 48,08% de sódio trocável, quando submetido ao tratamento I, sendo necessário se investigar o período máximo em que cada diluição pode ficar em contato com o solo, sem causar-lhe danos, uma vez que a água utilizada tem um RAS e um CSR bastante elevados.
- O solo Franco-Arenoso, quando lavado com a água do Açude São Gonçalo, teve, durante todo o tratamento, uma condutividade hidráulica nula e apresentou no final do tratamento manchas enegrecidas — álcali negro.
- O solo Arenoso-Franco foi recuperado quando submetido ao tratamento II, após um período de 22 dias de lavagem, apresentando porém, quando corrigido, uma condutividade hidráulica muito lenta.

6. RESUMO:

Devido a baixa produtividade dos solos salinos e sódicos, que ocorrem principalmente em terras irrigadas, é de grande interesse a recuperação dessas áreas.

A argila dispersa dos solos sódicos, diminui consideravelmente a permeabilidade destes dificultando sua lavagem e, conseqüentemente, a correção.

Neste trabalho procurou-se aproveitar a propriedade que tem a água de elevada concentração eletrolítica de flocular os coloides, facilitando, assim, o movimento da água através do solo.

O trabalho experimental foi realizado em laboratório usando-se amostras de solo com estrutura deformada.

Utilizou-se duas amostras de solo de Aluvião, procedentes do Perímetro Irrigado de São Gonçalo, sendo um dos solos Franco-Arenoso com 50,14% de sódio trocável e outro Arenoso-Franco com 48,08% de sódio trocável.

Empregou-se na lavagem dos solos a água do Açude Público São Gonçalo, e a água do poço C³, localizado na área de solos sódicos e salinos-sódicos do Perímetro de São Gonçalo, a várias diluições com a água do Açude.

A quantidade de gesso, necessária para correção dos solos, foi determinada em laboratório, sendo dividida em três doses, aplicadas em épocas diferentes.

O experimento constou de dois tratamentos. No tratamento I, iniciou-se a lavagem com a diluição 1+1, passando-se sucessivamente por cada diluição até a água de menor concentração de sais.

No tratamento II apenas a água do Açude São Gonçalo foi utilizada na lavagem dos solos.

O tratamento I, conseguiu elevar a condutividade hidráulica do solo Franco-Arenoso, obtendo-se sua correção após um período de 11 dias de lavagem.

A condutividade hidráulica do solo Arenoso-Franco variou bastante, durante o tratamento, indicando ser necessário pesquisar o tempo ideal para cada diluição permanecer em contato com o solo.

Com o tratamento II o solo Arenoso-Franco apresentou, após 14 dias de lavagem, uma condutividade hidráulica igual a 0,02 mm/h, que somente após 22 dias, quando corrigido o solo, elevava-se a 0,28 mm/h. O solo Franco-Arenoso condutividade hidráulica nula durante todo tratamento.

As conclusões obtidas foram as seguintes:

- Foi possível elevar a condutividade hidráulica dos solos utilizados no presente estudo, iniciando-se sua lavagem com água de elevada concentração eletrolítica.
- Uma vez que a água utilizada tem um RAS e um CSR bastante elevados, é necessário investigar o período-máximo em que cada diluição pode ficar em contato com o solo, sem causar-lhe danos.
- Obteve-se a correção do solo Franco-Arenoso, após um período de 11 dias, tendo-se iniciado sua lavagem com água de alto teor de sais.
- O solo Arenoso-Franco apesar de corrigido pelo tratamento II, apresentou uma condutividade hidráulica muito lenta.

7. BIBLIOGRAFIA:

1. BONNET. J.A. Edafologia de los Suelos Salinos y Sodicos. Universidad de Puerto Rico, 1960, pp. 26-54.
2. BUCKMAN, HARRY O. e BRADY, C. NYLE. Natureza e Propriedade dos Solos. 3ª Ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1960. p. 95.
3. BUREC. Land Classification Tecnologic and Standard. Part 517. Laboratory Procedures, Serie 510. Denver. Colorado.
4. F.A.O. & UNESCO. International Source Book on Irrigation and Drainage of Arid Lands in Relation to Salinity and Alkalinity. 1967. pp. 102-262-565-569.
5. HIDROSERVICE ENGENHARIA DE PROJETOS LTDA. Recuperação Hidroagrícola da Bacia de Irrigação de São Gonçalo. São Paulo. Vol. III - 1971. p. 1.11.
6. KELLEY, W.P. Alkali Soils. New York, Reinhold, 1951.
7. LABORATORIO DE SALINIDAD DE LOS ESTADOS UNIDOS. Diagnostico Y Rehabilitacion de Suelos Salinos y Sodicos. Riverside, California, Manual de Agricultura nº 60. 1954. pp. 3-5-21-29.
8. REEVE, R.C. Y BOWER C.A. Use of High-Salt Waters as a Flocculant and Source of Divalent Cations for Reclaiming Sodic Soils. Soil Science Vol. 90 (2) 1960.
9. SOUZA, RENIVAL A. Qualidade de Água de Irrigação. Controle da Salinidade do Solo e sua Reabilitação Recife, SUDENE/DRN/GREI – 1971 p. 21.
10. VETTORI, L. Métodos de Análise de Solo. EPE-MA, Boletim Técnico (7) 1969. 24 p.

EFEITO DE DIFERENTES NÍVEIS DE GESSO NA CORREÇÃO DE SOLOS SALINOS-SÓDICOS DO PERÍMETRO IRRIGADO DE POÇO DA CRUZ

Edilson Pereira*
José Furtado da Silva**

1 – INTRODUÇÃO

O desenvolvimento dos solos salinos ocorre devido a uma acumulação de sais solúveis. Esses sais consistem principalmente de cloretos e sulfatos de sódio, cálcio e magnésio, e são resultantes, originalmente, do intemperismo dos minerais primários.

Nas áreas onde os solos são de origem aluvionar, nas regiões áridas e semiáridas, o fator principal do halo-mofismo é o transporte dos íons pelas águas que fluem das regiões vizinhas e que durante algum tempo permanecem na superfície ou no lençol freático. Essas águas conduzem uma quantidade variável de íons que pela continuidade acumulam no solo, ao longo do tempo, quantidades consideráveis de sais.

Os solos afetados por excesso de sais se encontram, em sua maior parte, nas zonas áridas e semi-áridas do mundo.

Os problemas agrônômicos relacionados com a salinidade dos solos afetam grandes áreas de vários países, por esta razão há interesse mundial em adotar sistemas científicos para lixiviar os sais e diminuir o sódio desses solos.

No caso presente, os sais solúveis existentes são provenientes de camadas salgadas profundas donde ascenderam através da água do lençol freático ou da acumulação de sais a partir das águas de inundação (3).

Visando recuperar esses solos foi planejado o presente estudo onde procura-se lavar os sais existentes ou que venham a acumular-se no perfil e substituir o sódio em excesso nos colóides do solo, pelo cálcio.

2 – REVISÃO DA LITERATURA

É, sem dúvida, reconhecido que as culturas são afetadas pela salinização e alcalinização, isto é, a acumulação de sais solúveis ou de sódio trocável no solo.

O primeiro e mais importante efeito é a redução da velocidade e da quantidade de água que pode ser absorvida do solo pelas raízes das plantas, devido ao aumento da pressão osmótica do solo.

Assim, conforme FIREMAN (4), um dos principais efeitos da salinidade é que limita ou restringe o abastecimento de água da planta.

Outro efeito negativo é que alguns sais ou íons que não são prejudiciais em pequenas concentrações podem acumular-se no solo em quantidades suficientes para acarretar reações tóxicas às plantas. Entre esses se encontram os íons de cloro, sódio e bicarbonato, que são tóxicos, para certas plantas quando estão presentes em quantidades relativamente elevadas, como foi observado por EUSSEL e outros (4).

Esses solos podem ser melhorados ou recuperados, e alguns autores como ZYLSTRA e SALINAS (9) indicam como princípio geral de recuperação de solos salinos e sódicos o seguinte:

- Prevenção de uma maior salinização ou nova salinização depois que se conseguiu a recuperação;
- Eliminação do excesso de sais solúveis lavando-se o perfil;
- Substituição do sódio trocável por cálcio e lavagem do sódio solúvel resultante da reação de troca.

No caso em estudo os sais solúveis existentes no perfil são, possivelmente, provenientes de camadas profundas de onde ascenderam através da água do lençol freático ou da acumulação a partir de sais das águas de inundação das zonas mais baixas e que são eliminadas, principalmente, através da evaporação.

* Engenheiro Agrônomo — Chefe da Seção de Conservação de Solo e Água da 3ª DR/DNOCS, Recife, PE.

** Engenheiro Agrônomo M.S. — Chefe do Serviço de Experimentação da 3ª DR/DNOCS, Recife, PE.

A substituição do sódio pelo cálcio deverá ser obtida através da aplicação de corretivos.

O tipo e a quantidade do corretivo químico que se vai aplicar a um solo para substituir o sódio trocável, depende das características próprias do solo, da velocidade de substituição desejada e das limitações econômicas (6).

O poder de deslocamento dos cations depende da sua concentração na solução do solo.

BUCIOMAN e BRADY (2) baseados em vários autores informaram que quando estão presentes em quantidades equivalentes, a capacidade de adsorção obedece a seguinte ordem $H > Ca > Mg > K > Na$. Esta ordem é determinada pela densidade de carga e grau de hidratação de ion. Poder-se-ia esperar portanto que as quantidades destes ions na forma permutável mantivesse a mesma ordem com maior predominância do cation de cálcio e menor de cation de sódio. Via de regra é o que acontece na maioria das regiões úmidas bem drenadas.

Em regiões de precipitação mais reduzida o cálcio e outras bases não são lixiviados e portanto apresentam uma percentagem de saturação de bases de 90 a 100. O pH é em torno de 7,0 podendo exceder a este valor se os carbonatos estiverem presentes, especialmente os de sódio.

Cita BONNET (1) que a lixiviação é o processo de dissolução e transporte por movimento descendente da água da chuva e de irrigação, dos sais solúveis na zona das raízes em um solo salino, para convertê-lo em um solo normal.

Apesar da lixiviação ser, isoladamente, uma prática recuperadora de solos salgados, deve-se levar em consideração os solos que apresentam disponibilidade de cálcio e solos nos quais o cálcio seja deficiente.

Nas condições da área, a aplicação do gesso como corretivo dos solos apresentam várias vantagens de acordo com KELLEY (5):

- O gesso desloca efetivamente o sódio adsorvido na micela.
(argila) $Na_2 + CaSO_4$ (argila) $Ca + Na_2SO_4$
- O gesso tende a reagir com o Na_2CO_3 , responsável pela formação do "black alcali", que geralmente está associado ao sódio permutável.
- A solubilidade do gesso aumenta na presença de ions sódio e cloreto, componentes dos sais solúveis dos solos da área.
- O gesso é de fácil aplicação e é encontrado com facilidade no mercado.

Segundo BONNET (1) a quantidade de gesso que deve aplicar-se ao solo sódico depende da quantidade de sódio trocável do solo e da capacidade de troca de cations.

Finalmente, as operações de lixiviação e tratamentos corretivos, deverão ser feitas com base em experimentos, para comprovação da eficiência do tratamento, informa SOUZA (7).

3 – MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi iniciado em 1974 no perímetro irrigado de Poço da Cruz, Ibimirim, Pernambuco. Na área experimental o solo apresentou as seguintes características:

Na camada superior apresenta textura franco-argilosa e nas demais camadas de textura argilosa, chegando a 63% de argila na profundidade de 90 – 120 cm.

Apresenta teores elevados de Ca e Mg em todas as camadas. O pH varia de neutro a levemente alcalino.

O teor de sódio é elevado e a condutividade elétrica atinge 10,0 mmhos/cm na profundidade de 60 - 90 cm.

Os resultados das análises físicas e químicas são apresentados no QUADRO 2.

O delineamento empregado foi o de blocos, ao acaso com 5 tratamentos e 6 repetições, tendo cada parcela uma área total de 100 m² e uma área útil de 64 m².

Os tratamentos consistiram em 5 doses de gesso; 0, 5, 10, 15, 20 ton/ha.

A dose de 10 ton/ha correspondeu, aproximadamente, a quantidade de gesso, determinado em laboratório, para eliminar o sódio trocável da camada 0 - 30 cm, de acordo com a seguinte equação:



A aplicação de gesso foi feita de duas vezes, a primeira no lançamento de experimento e a segunda seis meses após. As quantidades foram aplicadas já multiplicadas pelo fator de correção, uma vez que o gesso não é 100% puro.

Na instalação, o terreno foi arado, gradeado e a aplicação de gesso foi feita de acordo com os tratamentos pospostos, isto é, até uma profundidade de 30 cm.

Logo após a aplicação e incorporação do gesso fez-se o sulcamento e em seguida a semeadura de arroz com a variedade Nira.

A irrigação obedeceu ao seguinte critério:

Depois do plantio do arroz aplicou-se uma irrigação com excesso de água. Quando as plantas alcançaram a altura de cerca de 20 cm foi estabelecida a inundação permanente com uma lâmina constante d'água em torno de 10 cm.

Dois meses após a aplicação do gesso, foram coletadas amostras em todas as parcelas, às profundidades de 0 – 30 cm, 30 – 60 cm, 60 – 90 cm e 90 – 120 cm, para fins de análises, principalmente, pH, CE e cations trocáveis. Os resultados das análises constam nos QUADROS 3 a 10.

Além dessas amostras de solos, foram coletadas amostras de água no canal adutor e no dreno coletor das águas da área experimental QUADROS 11 e 12.

As análises de caracterização de perfil seguiram os métodos propostos por LEANDRO VETTORI (8), exceção feita a análise granulométrica que seguiu o método da pipeta e a condutividade elétrica, que foi determinada no extrato de saturação.

As análises de salinidades dos solos e a classificação da água quanto a salinidade obedeceram aos métodos do Laboratório de Salinidade dos EE.UU. (6).

4 – RESULTADOS

Os dados de produção de arroz em casca, foram analisados estatisticamente conforme podemos observar no QUADRO 1.

Nos elementos referentes ao solo, foram analisados, principalmente, o pH, percentagem de Na⁺ trocável e condutividade elétrica do extrato de saturação do solo.

A água de irrigação e de drenagem, foi analisada principalmente quanto a condutividade elétrica e teor de sódio.

Esses solos apresentaram reação predominantemente neutra a levemente alcalina, ocorreu também reação medianamente alcalina.

Em vários casos verificou-se que mesmo apresentando mais de 15 por cento da capacidade total de permuta ocupada pelo sódio, apresentou pH inferior a 8,5.

De uma maneira geral observou-se que o pH aumenta com a profundidade.

Os teores de sódio determinados em todos os tratamentos (nas profundidades de 0 – 30 cm, 30 – 60 cm, 60 – 90 cm e 90 – 120 cm e que são apresentados nos QUADROS 3 e 10), mostrou que houve redução desses teores em vários tratamentos e em diversas profundidades. Verificou-se, também que algumas parcelas não responderam satisfatoriamente aos tratamentos utilizados.

Os valores da condutividade elétrica do solo determinada em todos os tratamentos (nas profundidades de 0 – 30 cm, 30 – 60 cm, 60 – 90 cm e 90 – 120 cm e que são apresentados nos QUADROS 3 a 10), mostram, que houve redução da salinidade em vários tratamentos e em distintas profundidades. Algumas parcelas não responderam aos tratamentos, possivelmente, por não ter a lavagem do solo sido suficiente.

A água na irrigação foi classificada como C3 S1, (os resultados das análises constam do QUADRO 11).

A água coletada no dreno, também classificada como C3 S1, mostrou, um aumento da condutividade elétrica e na Relação de Absorção de Sódio (RAS), (QUADRO 12).

5 – DISCUSSÃO

O solo com que se trabalhou, principalmente, por suas características de alcali-salinização, constituiu um tipo ideal para os estudos relacionados com o uso de corretivos químicos.

A planta indicadora o arroz, é uma cultura que apresenta boa tolerância a estados de alcalinidade e salinidade.

A água utilizada foi a comumente usada na irrigação do Perímetro.

O corretivo empregado foi o gesso por ser de fácil obtenção e aplicação, além de, deslocar efetivamente e sódio adsorvido na micela. A sua eficiência, na recuperação dos solos alcalinos, depende da quantidade do corretivo usado para substituição do sódio permutável, do grau de moagem do material, da forma de aplicação e da quantidade de água de irrigação empregada.

Analisando-se os valores da acidez do solo expresso em pH, verificou-se que em várias amostras, mesmo contendo mais de 15 por cento da capacidade total de permuta ocupado pelo sódio, apresentou pH inferior a 8,5, provavelmente, devido ao excesso de sais contido no solo. (Esses resultados, estão de acordo com os obtidos por FIREMAN e WADLEIGH (4) que verificaram que os solos cujo pH é inferior a 8,5 a percentagem de sódio trocável pode ou não ser maior que 15).

Os teores de sódio de solo, determinados em todos os tratamentos mostram que houve redução desses valores. Verificou-se, também, que algumas parcelas não responderam satisfatoriamente aos tratamentos utilizados.

Esse fato ocorreu possivelmente devido ao alto teor de SO_4^{4-} — solúvel existente que diminui a solubilidade do gesso, (conforme já foi observado por KELLEY (5)).

Observou-se que ocorreu redução da condutividade elétrica em vários tratamentos, confirmando a importância da lixiviação na redução da quantidade de sais existentes no solo para transformá-lo em um solo normal.

(De acordo com ZYLSTRA e SALINAS (9) essa é a única forma prática de eliminar os sais do solo).

A água coletada no dreno, apresentou condutividade elétrica mais elevada que a da irrigação, indicando que houve lixiviação de sais do perfil, fato comprovado pelo acréscimo dos teores de Ca^{++} + Mg^{++} e Na^+ .

A diminuição do pH relacionou-se com a diminuição da alcalinidade total da água, indicando que possivelmente houve reação e formação de carbonato de cálcio no solo, (uma vez que, o Carbonato de Sódio Residual é negativo).

Analisando os dados da análise de variância apresentada no QUADRO 1, verifica-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos estudados, o que confirma a alta tolerância do arroz a solos com problemas de salinidade.

Finalizando, é preciso salientar que, dado a complexidade do assunto, os resultados da presente investigação ainda são preliminares pois foi efetuada somente a primeira etapa do programa estabelecido no plano experimental.

6 – CONCLUSÕES

As conclusões que se derivam do presente trabalho, nas condições do experimento, são as seguintes que se enumeram:

1 — As diferenças de produção do arroz em casca entre os tratamentos estudados não foram estatisticamente significativas, mostrando assim a alta resistência do arroz aos solos salinos e sódicos.

2 — O balanço geral das análises químicas, mostra dominância do cation sódio em relação aos cations cálcio mais magnésio. Quanto aos anions, existe abundância de cloretos seguindo-se de sulfatos.

3 — Está ocorrendo lixiviação, fato evidenciado pela análise da água coletada no dreno.

4 — O gesso aplicado como corretivo químico vem trazendo benefício na troca do sódio pelo cálcio, possibilitando, assim, melhoria nas características do solo.

5 — Nenhum tratamento mostrou ser mais eficiente que outro, provavelmente por estarmos ainda em uma etapa preliminar do trabalho de recuperação.

6 — Esses resultados, ainda que preliminares, já mostram que há possibilidade de melhorar os solos do Perímetro Irrigado de Poço da Cruz, com utilização de corretivos químicos e lixiviação.

7 – APÊNDICES

QUADRO 1 – Análise de variância da produção de arroz em t/ha

Causa de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F.
Blocos	5	369,44	73,888	0,32
Tratamentos	4	295,06	73,765	0,32
Resíduo	20	4.787,68	239,384	
Total	29	5.452,18		

C.V. = 13%

X = 5,41 t/ha

As médias de tratamentos em t/ha, são apresentadas a seguir:

Tratamentos t/gesso	Produção t/ha
0	5,59
5	5,04
10	5,04
15	5,70
20	5,71

QUADRO 2

Resultados das Análises Físicas e Químicas

CAMADA		AMOSTRA SECA AO AR %			COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA %				ARGILA	CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL	CE a 25°C
Símbolo	Profund.	Calhaus	Cascalho	Terra Fina	Areia Grossa	Areia Fina	Limo	Argila	NATURAL %		Ext. Sat. mmhos/cm
I	0 - 30				1	33	27	39		Franco-Argiloso	5,0
II	30 - 60				0	14	27	59		Argiloso	7,2
III	60 - 90				0	11	28	61		Argiloso	10,0
IV	90 - 120				0	11	26	63		Argiloso	9,0

MASSA ESPECIF.		UNIDADE %				CONDUT.	pH		MATÉRIA	CARBONO	NITROGÊNIO	C/N	P ₂ O ₅
Aparente	Real	Residual	C. Campo	Equival.	à 15 atm.	HIDRAUL. cm/h	H ₂ O	KCl	ORGÂNICA %	%	mg		(Trueog) mg/100g
							7,3	6,0	1,86	1,03			23,36
							7,7	6,4	1,00	0,58			26,47
							7,3	6,1	0,76	0,44			19,82
							7,0	5,8	0,67	0,39			16,21

COMPLEXO SÓDICO Em me/100g de solo							100 S/T	SÓDIO	Al ⁺⁺⁺	Ataque H ₂ SO ₄ d=1,47 %			SiO ₂	SiO ₂
Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	H ⁺ +Al ³⁺	T	V %	%	trocável me/100g	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	H ₂ O ₃
11,54	6,01	0,80	3,39	21,74		21,74	100	15,59						
12,89	8,78	0,65	10,47	32,79		32,79	100	31,93						
11,90	9,32	0,53	9,63	31,38		31,38	100	30,69						
10,50	10,84	0,46	10,35	32,14		32,14	100	32,20						

QUADRO 3

Análise de Salinidade

IDENTIFICAÇÃO			EXTRATO DE SATURAÇÃO								pH	Classificação	
Perfil	Símbolo	Profundidade (cm)	Cations em me/l			Anions em me/l				Na %	C.E. a 25°C mhos/cm		pH (1:2,5)
			Ca + Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄				
B1-1A	I	0 - 30	3,76	7,79						7	1,2	6,5	Normal
	II	30 - 60	54,72	26,70		aus.	aus.	73,94	6,25	6	6,0	5,9	Salino
	III	60 - 90	2,90	11,20						11	1,4	6,9	Normal
	IV	90 - 120	4,72	16,70						13	1,3	7,0	Normal
B1-1B	I	0 - 30	18,00	51,00		aus.	6,00	44,25	18,75	19	5,5	7,4	Salino-sódico
	II	30 - 60	10,64	45,20		aus.	5,00	37,32	16,67	22	5,1	7,8	Salino-sódico
	III	60 - 90	2,10	17,38						19	1,9	8,5	Sódico
	IV	90 - 120	2,60	17,38						16	1,7	8,3	Sódico
B1-1C	I	0 - 30	3,56	5,36						4	1,0	7,2	Normal
	II	30 - 60	2,60	10,68						11	1,3	7,4	Normal
	III	60 - 90	2,40	9,20						10	1,1	7,7	Normal
	IV	90 - 120	2,70	15,95						16	1,9	7,7	Sódico
B1-1D	I	0 - 30	8,48	8,36						5	1,6	7,0	Normal
	II	30 - 60	6,80	14,90						10	2,2	6,9	Normal
	III	60 - 90	7,20	45,50		aus.	2,00	42,25	14,58	25	5,5	7,4	Salino-sódico
	IV	90 - 120	26,80	66,66		aus.	1,00	53,52	32,29	25	9,5	7,0	Salino-sódico

QUADRO 4

Análise de Salinidade

IDENTIFICAÇÃO			EXTRATO DE SATURAÇÃO								pH	Classificação	
Perfil	Símbolo	Profundi- dade (cm)	Cations em mg/l			Anions em mg/l				Na %	C.E. a 25°C mhos/cm		(1:2,5)
			Ca + Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄				
81-1E	I	0 - 30	5,84	15,76						11	2,0	7,1	Normal
	II	30 - 60	4,64	24,40						18	3,0	7,2	Sódico
	III	60 - 90	7,92	44,00		aus.	aus.	11,27	40,65	24	5,0	7,3	Salino-sódico
	IV	90 - 120	10,88	61,46		aus.	aus.	32,68	53,13	27	6,5	7,1	Salino-sódico
81-2A	I	0 - 30	132,80	144,90		aus.	aus.	252,11	22,98	20	>15,0	5,9	Salino-Sódico
	II	30 - 60	176,00	231,00		aus.	aus.	367,32	23,75	23	>15,0	6,1	Salino-sódico
	III	60 - 90	93,60	159,74		aus.	aus.	223,66	20,83	25	14,0	6,6	Salino-sódico
	IV	90 - 120	21,52	64,10		aus.	aus.	91,27	19,58	27	7,5	7,0	Salino-sódico
81-2B	I	0 - 30	5,72	6,00						4	1,2	7,1	Normal
	II	30 - 60	2,90	8,00						8	1,0	7,3	Normal
	III	60 - 90	6,20	17,60						12	2,2	7,1	Normal
	IV	90 - 120	3,04	11,66						11	1,2	7,5	Normal
81-2C	I	0 - 30	2,96	14,00						14	1,8	7,3	Normal
	II	30 - 60	4,24	23,40						18	2,6	7,6	Sódico
	III	60 - 90	9,52	61,46		aus.	2,00	60,28	16,33	29	6,4	7,4	Salino-sódico
	IV	90 - 120	17,12	89,76		aus.	aus.	96,34	23,75	31	9,2	7,0	Salino-sódico

QUADRO 5

Análise de Salinidade

IDENTIFICAÇÃO			EXTRATO DE SATURAÇÃO								pH (1:2,5)	Classificação	
Perfil	Símbolo	Profundidade (cm)	Cations em mg/l			Anions em mg/l				Na %			C.E. a 25°C mmhos/cm
			Ca + Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄				
B1-2D	I	0 - 30	16,56	45,50		aus.	2,00	7,62	32,00*	18	5,4	7,6	Salino-sódico
	II	30 - 60	34,00	110,40		aus.	1,00	42,82	116,97	26	10,0	7,3	Salino-sódico
	III	60 - 90	72,00	236,75		aus.	aus.	97,18	79,17*	36	33,7	6,9	Salino-sódico
	IV	90 - 120	176,50	565,50		aus.	aus.	707,04	19,17	47	57,6	6,7	Salino-sódico
B1-2E	I	0 - 30	8,40	16,66		aus.	1,00	16,77	6,20	10	2,5	7,0	Normal
	II	30 - 60	6,80	44,00		aus.	3,00	38,31	14,17	26	5,0	7,9	Salino-sódico
	III	60 - 90	3,60	34,76						27	3,8	8,9	Sódico
	IV	90 - 120	1,40	24,40						29	2,7	8,8	Sódico
B1-3A	I	0 - 30	2,40	13,36						14	1,5	7,9	Normal
	II	30 - 60	1,20	17,60						24	1,9	9,2	Sódico
	III	60 - 90	2,00	13,36						16	1,5	9,5	Sódico
	IV	90 - 120	1,20	13,36						19	1,4	9,2	Sódico
B1-3B	I	0 - 30	3,00	15,76						15	2,2	8,1	Sódico
	II	30 - 60	19,00	78,90		aus.	1,00	33,24	56,24	25	8,4	7,7	Salino-sódico
	III	60 - 90	54,50	163,34		aus.	aus.	153,62	50,64	31	18,8	7,1	Salino-sódico
	IV	90 - 120	74,50	220,60		aus.	aus.	203,94	22,50	34	26,0	6,6	Salino-sódico

(*) Presença de NO₃

QUADRO 6

Análise de Salinidade

IDENTIFICAÇÃO			EXTRATO DE SATURAÇÃO								pH (1:2,5)	Classificação
Perfil	Símbolo	Profundidade (cm)	Cations em mg/l			Anions em mg/l				Na %	C.E. a 25°C cmhos/cm	
			Ca + Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄			
B1-3C	I	0 - 30	5,40	21,36						15	2,9	7,6 Sódico
	II	30 - 60	7,50	39,26		aus.	1,00	7,89	42,76	22	4,6	8,2 Salino-sódico
	III	60 - 90	3,00	24,40						22	2,6	Sódico
	IV	90 - 120	1,20	20,40						27	2,2	Sódico
B1-3D	I	0 - 30	22,00	18,40						4	3,6	Normal
	II	30 - 60	7,00	31,90						19	3,8	Sódico
	III	60 - 90	13,00	52,40		aus.	1,00	40,00	32,00	20	3,7	Salino-sódico
	IV	90 - 120	37,50	101,26		aus.	1,00	54,65	81,25	25	11,0	Salino-sódico
B1-3E	I	0 - 30	9,00	43,30		aus.	1,00	7,32	20,13*	22	4,6	Salino-sódico
	II	30 - 60	2,60	14,00						14	1,5	Normal
	III	60 - 90	1,60	23,40						27	2,6	Sódico
	IV	90 - 120	2,40	23,40						23	2,6	Sódico
B1-4A	I	0 - 30	4,40	25,56						20	3,2	Sódico
	II	30 - 60	3,00	30,30						26	3,4	Sódico
	III	60 - 90	18,50	110,40		aus.	1,00	73,24	36,25	34	10,0	Salino-sódico
	IV	90 - 120	26,00	135,80		aus.	aus.	135,21	31,67	39	15,7	Salino-sódico

(*) Presença de NO₃

QUADRO 7

Análise de Salinidade

IDENTIFICAÇÃO			EXTRATO DE SATURAÇÃO								pH (1:2,5)	Classificação
Perfil	Símbolo	Profundidade (cm)	Cations em mg/l			Anions em mg/l				Na %	C.E. a 25°C mhos/cm	
			Ca + Mg	Na	K	Cl	HCO ₃	SO ₄				
81-48	I	0 - 30	2,28	30,50					29	3,2	8,3	Sódico
	II	30 - 60	11,50	78,50		aus.	1,00	45,07	37,59	32	8,0	Salino-sódico
	III	60 - 90	2,00	28,10					29	3,1	8,6	Sódico
	IV	90 - 120	1,00	18,40					27	2,0	8,8	Sódico
81-4C	I	0 - 30	11,00	45,50		aus.	1,00	14,08	23,58	21	4,0	Salino-sódico
	II	30 - 60	25,50	116,70		aus.	aus.	66,20	52,03	32	11,8	Salino-sódico
	III	60 - 90	64,50	220,00		aus.	aus.	242,25	30,83	33	26,0	Salino-sódico
	IV	90 - 120	67,50	237,00		aus.	aus.	287,32	28,75	39	28,0	Salino-sódico
81-4D	I	0 - 30	11,80	10,90					5	2,2	7,3	Normal
	II	30 - 60	2,72	12,50					13	1,5	7,8	Normal
	III	60 - 90	1,36	12,50					17	1,4	8,0	Sódico
	IV	90 - 120	1,92	19,36					22	2,1	8,0	Sódico
81-4E	I	0 - 30	9,30	31,90		aus.	1,30	27,04	16,67	17	4,2	Salino-sódico
	II	30 - 60	12,80	73,30		aus.	1,00	63,33	27,03	29	8,9	Salino-sódico
	III	60 - 90	8,90	65,50		aus.	2,00	55,34	22,50	31	6,8	Salino-sódico
	IV	90 - 120	6,10	51,40		aus.	1,00	43,60	12,04	30	7,1	Salino-sódico

QUADRO 8

Análise de Salinidade

IDENTIFICAÇÃO			EXTRATO DE SATURAÇÃO								pH (1:2,5)	Classificação
Perfil	Símbolo	Profundi- dade (cm)	Cations em me/l			Anions em me/l				Na %	C.E. a 25°C mmhos/cm	
			Ca + Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄			
B1-5A	I	0 - 30	2,80	21,36						20	2,5	Sódico
	II	30 - 60	1,52	19,36						24	2,2	Sódico
	III	60 - 90	13,90	36,16		aus.	aus.	18,03	29,17	16	4,6	Salino-sódico
	IV	90 - 120	27,00	45,50		aus.	aus.	61,97	10,53	15	9,0	Salino-sódico
B1-5B	I	0 - 30	1,96	17,60						20	2,0	Sódico
	II	30 - 60	5,60	55,00		aus.	3,00	31,55	25,00	32	5,5	Salino-sódico
	III	60 - 90	23,50	85,86		aus.	1,00	47,89	32,92*	27	10,0	Salino-sódico
	IV	90 - 120	6,80	49,50		aus.	aus.	31,55	30,65	28	5,5	Salino-sódico
B1-5C	I	0 - 30	3,28	16,76						14	2,0	Normal
	II	30 - 60	3,10	18,48						17	2,1	Sódico
	III	60 - 90	1,60	10,10						13	1,3	Normal
	IV	90 - 120	1,76	14,00						17	1,6	Sódico
B1-5D	I	0 - 30	9,44	16,66						9	2,4	Normal
	II	30 - 60	9,12	42,36		aus.	1,00	3,94	25,63*	22	4,5	Salino-sódico
	III	60 - 90	2,16	29,40						29	3,2	Sódico
	IV	90 - 120	2,32	39,26		aus.	aus.	7,32	24,50*	34	4,1	Salino-sódico

(*) Presença de NO

QUADRO 9

Análise de Salinidade

IDENTIFICAÇÃO			EXTRATO DE SATURAÇÃO								pH (1:2,5)	Classificação
Perfil	Símbolo	Profundidade (cm)	Cations em me/l			Anions em me/l				Na %	C.E. a 25°C mmhos/cm	
			Ca + Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄			
B1-5E	I	0 - 30	3,28	24,40						21	3,0	Sódico
	II	30 - 60	9,20	59,40		aus.	1,00	6,45	27,50*	28	6,1	Salino-Sódico
	III	60 - 90	5,26	45,50		aus.	1,00	6,20	27,52*	29	5,1	Salino-Sódico
	IV	90 - 120	2,48	36,16						32	3,8	Sódico
B1-6A	I	0 - 30	2,00	19,36						21	2,0	Sódico
	II	30 - 60	8,20	45,50		aus.	2,00	29,86	25,83	24	5,3	Salino-Sódico
	III	60 - 90	37,66	130,40		aus.	1,00	45,07	120,83	30	11,6	Salino-Sódico
	IV	90 - 120	24,56	144,90		aus.	1,00	122,54	31,26	37	14,0	Salino-Sódico
B1-6B	I	0 - 30	11,28	7,30						3	2,0	Normal
	II	30 - 60	3,20	4,20						4	0,6	Normal
	III	60 - 90	3,20	6,66						6	1,1	Normal
	IV	90 - 120	2,44	10,10						11	1,2	Normal
B1-6C	I	0 - 30	2,60	14,00						14	1,6	Normal
	II	30 - 60	3,84	30,50						24	3,8	Sódico
	III	60 - 90	1,12	14,90						22	1,7	Sódico
	IV	90 - 120	1,00	12,50						20	1,3	Sódico

(*) Presença de NO₃

QUADRO 10

Análise de Salinidade

IDENTIFICAÇÃO			EXTRATO DE SATURAÇÃO								pH (1:2,5)	Classificação	
Perfil	Símbolo	Profundi- dade (cm)	Cations em mg/l			Anions em mg/l				Na			C.E. a 25°C
			Ca + Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	%			mmhos/cm
B1-6D	I	0 - 30	12,56	9,40						4	2,4	6,5	Normal
	II	30 - 60	4,40	3,60						2	0,9	7,1	Normal
	III	60 - 90	5,68	4,94						3	1,2	7,5	Normal
	IV	90 - 120	5,12	6,66						5	1,3	7,5	Normal
B1-6E	I	0 - 30	2,80	8,00						8	1,2	7,2	Normal
	II	30 - 60	2,00	12,50						15	1,4	8,4	Sódico
	III	60 - 90	1,12	12,50						19	1,4	8,6	Sódico
	IV	90 - 120	1,00	8,00						13	0,9	8,7	Normal

QUADRO 11
Análise de Água

RESULTADOS

pH	7,8
Condutividade elétrica em micromhos/cm a 25°C.	875
Cálcio + Magnésio (me/1)	3,78
Sódio (me/1)	3,93
Relação de Adsorção de Sódio (RAS)	2,87
Carbonato + Bicarbonato (me/1)	2,56
Carbonato de Sódio Residual (me/1).	negativo
Boro (ppm)	—
Classificação.	C3 S1

Interpretação:

Água de alta salinidade. Não pode ser empregada em solos de drenagem limitada. Mesmo com drenagem adequada, práticas especiais para o controle da salinidade podem ser necessárias e somente deve ser aplicada em plantas com boa tolerância ao sal.

Apresenta baixo teor de sódio, podendo ser utilizada na irrigação da maioria dos solos com pequeno risco de alcançar níveis perigosos de sódio intercambiável.

QUADRO 12
Análise de Água

RESULTADOS

pH	7,5
Condutividade elétrica em micromhos/ cm a 25°C.	933
Cálcio + Magnésio (me/1)	4,00
Sódio (me/1)	4,34
Relação de Adsorção de Sódio (RAS),	3,03
Carbonato + Bicarbonato (me/1)	2,10
Carbonato de Sódio Residual (me/1).	negativo
Boro (ppm)	—
Classificação.	C3S1

Interpretação:

Água de alta salinidade. Não pode ser empregada em solos de drenagem limitada. Mesmo com drenagem adequada, práticas especiais para o controle de salinidade podem ser necessárias e somente deve ser aplicada em plantas com boa tolerância ao sal.

Apresenta baixo teor de sódio, podendo ser utilizada na irrigação da maioria dos solos com pequeno risco de alcançar níveis perigosos de sódio intercambiável.

8 — RESUMO

Em solos salinos-sódicos, do Perímetro Irrigado de Poço da Cruz, Ibimirim, Estado de Pernambuco, foi realizada a presente investigação, que teve como principal objetivo estudar o comportamento de diferentes níveis de gesso para substituir o sódio em excesso nos colóides do solo pelo cálcio.

O delineamento empregado foi o de blocos ao acaso com 6 repetições. Os tratamentos testados foram os se-

guintes: 0,5, 10, 15 e 20 toneladas de gesso por hectare, usando-se a cultura de arroz (*Oryza sativa* L.) como indicadora e o sistema de irrigação utilizado foi inundação permanente.

O experimento teve início em julho de 1974. Após completado o ciclo vegetativo, foram obtidos e analisados estatisticamente os dados referentes a produção de arroz em casca, bem como, coletadas amostras de solo para análise.

Os resultados podem ser resumidos assim:

a) As diferenças de produção do arroz em casca entre os tratamentos estudados não foram estatisticamente significativas, mostrando assim a alta resistência do arroz aos solos salinos-sódicos.

b) O balanço geral das análises químicas, mostra dominância do cation sódio em relação aos cations cálcio mais magnésio. Quanto aos anions, apresentou abundância de cloretos seguindo-se de sulfatos.

c) O gesso aplicado como corretivo químico vem trazendo benefício na troca de sódio pelo cálcio, possibilitando, assim, melhoria nas características do solo.

d) Está ocorrendo lixiviação, fato evidenciado pela análise da água coletada no dreno.

9 – BIBLIOGRAFIA

- 1 – BONNET, J.A. Edafologia de los Suelos Salinos y Sedicos. Universidad de Puerto Rico, 1960. pp. 180-189.
- 2 – BUCKMAN, HARRY O. e BRADY, C. NYLE – Natureza e Propriedade dos Solos. 3ª Ed. — Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1960. p. 113.
- 3 – COBA & ERN – Projeto de Irrigação do Vale do Moxotó. Estudos Agrológicos. 1969.
- 4 – FIREMAN, MILTON – Drenaje de Tierras Agrícolas. 1ª Edição México, Editorial Limuse Wiley S.A., 1967. p. 564.
- 5 – KELLEY, W.P. — Alkali Soils. New York, Reinhold, 1951.
- 6 – LABORATÓRIO DE SALINIDAD DE LOS ESTADOS UNIDOS-Diagnóstico y Rehabilitacion de Suelos Salinos y Sodicós, Riverside, California, Manual de Agricultura nº 60. 1954.
- 7 – SOUZA, RENIVAL A. — Qualidade de Água de Irrigação Controle da Salinidade de Solo e sua Reabilitação. Recife SUDENE/DRN/CREY, 1971. pp 52-53.
- 8 – VETTORI, L. — Métodos de Análise de Solo. EPE-MA, Boletim Técnico (7). 1969. p. 24.
- 9 – ZYLSTRA, G. e SALIMAS, H. YAP — Salinidade y Drenage em Zonas Bajo Riego. Peru, Centro de Drenage y Recuperacion de Tierras, 1972. pp. 22-23.

CONTRIBUIÇÃO AO MELHORAMENTO DOS SOLOS SALINOS DO PROJETO DE IRRIGAÇÃO CACHOEIRA II.

Geraldo Wanderley*

INTRODUÇÃO

A área do Projeto situa-se na micro-região homogênea do sertão do Pajeú, município de Serra Talhada no Estado de Pernambuco. Está compreendida entre as coordenadas geográficas 7°58' e 8°00' de latitude sul e 36° 09' 20" e 36° 10' 40" de longitude a oeste de Greenwich, com altitude de 500 metros.

A ocorrência do afloramento de sais em alguns trechos da mesma, além daqueles mapeados no levantamento realizado para o projeto, além daqueles mapeados no levantamento realizado para o projeto, deram ensejo a esta nova investigação.

Com base nos aspectos de campo foram estudados e coletadas amostras de 65 (sessenta e cinco) perfis, com profundidade variável entre 1,50 e 2,00 m. sendo feita a distribuição de modo que nas áreas com afloramentos salinos locavam-se maior número de pontos de observação. O número de sondagens realizadas corresponde em média a 1 (uma) sondagem/3 (três) ha.

Considerando-se os aspectos morfológicos, este estudo comprovou a exatidão do mapeamento realizado para o projeto. Assim são válidas as conclusões do primeiro estudo referente aos solos não afetados pelo sal.

A ocorrência de solos afetados pelo sal no perímetro está, quase que totalmente, restrita à área compreendida entre a barragem e a ponte sobre a estrada de ferro. Conseqüentemente foi confeccionado o mapa de salinidade apenas para a área acima citada.

1 – CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS SALINOS E SÓDICOS

Para caracterização dos solos salinos e sódicos adota-se o critério do "UNITED STATES SALINE LABORATORY", por apresentar-se como o mais relacionado com o uso, melhoramento e conservação dos solos.

O quadro nº 01 apresenta a caracterização dos solos com problemas de salinidade.

QUADRO Nº 01

Classificação	C.E. do ext. de est. 25°C mmho/cm	% do Na + Trocável
Solos salinos	4 ou mais	Menos de 15
Solos salino-sódicos	4 ou mais	Mais de 15
Solos sódicos	Menos de 4	Mais de 15

2 – CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS SOLOS DO PROJETO AFETADOS PELO SAL

2.1 – CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

Considerando-se o referido critério foram encontrados nesse Projeto três Classes de solos afetados pelo sal, as quais foram subdivididas em 18 (dezoito) "tipos" de acordo com a grande variação de concentração de sais e sódio intercambiável apresentada nas sondagens efetuadas. As classes e os respectivos tipos são os seguintes:

a) SOLOS SALINOS Até 1 (um) metro de profundidade com substrato salino-sódico:

Compreende os tipos – 16 – 17 e 18

b) SOLOS SALINOS Até 40-50 cm de profundidade sobre camadas salino-sódicas

* Engenheiro Agrônomo, chefe do Serviço de Pedologia da 3ª Diretoria Regional do DNOCS.

Compreende os tipos – 8, 9, 10 e 13

c) SOLOS SALINO-SÓDICOS a partir da superfície

Compreende os tipos – 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 12, 14 e 15.

A divisão da área em tipos tem a finalidade de uniformizar o mapeamento dos solos que apresentam problemas de salinização visando a sua correção e uso.

Esta classificação, vista isoladamente, não define a aptidão cultural dos solos da área. Para a correta utilização dos mesmos cabe, no responsável pela escolha das culturas, fazer uso dos Quadros de tolerância das culturas à salinidade, anexos, ou de outros existentes. Exemplificando, pode-se verificar que o cultivo de milho em solos do tipo nº 04 ficará totalmente comprometido pois a C.E. nesta área atinge 15 mmho/cm (item nº 2.2) e, nestas condições, a redução da produtividade irria além de 5% (anexo nº 2. 1).

Segundo o sistema de classificação Usado pela DPP – MA. (recomendado pelo GEIDA) os primeiros (a) são classificados como: SOLONCHAK fase substrato solonetzico, e os demais (b e c) como SOLONETZ solodizados.

2.2. – DESCRIÇÃO DOS TIPOS DE SOLOS

Solos Salinos até 1 m de profundidade com substrato salino sódico. Estes solos apresentam-se distribuídos nas unidades SITIA, CACHOEIRA E LAGOAS (1), ocupando uma área de 4,192 ha.

Dados gerais dos tipos identificados

TIPO 16

- Sondagens representativas nºs 15 16
- Condutividade elétrica de extrato de saturação
 - até 50 cm de profundidade 4,2
 - de 50 a 100 cm de profundidade 5,2
- Textura
 - até 70 cm de profundidade – Franco Arenoso.
 - mais de 70 cm de profundidade – Franco Argilo Arenoso
- Estrutura fraca a moderada, blocos sub-angulares
- Condutividade hidráulica baixa a nula, decrescendo em profundidade
- Reação ao HCl: forte efervescência a partir de 80 cm de profundidade

TIPO 17

- Sondagem representativa: nº 33 e
- Condutividade elétrica em profundidade
 - até 50 cm – 1,0 mmho/cm
 - de 50 – 100 cm – 4,3 mmho/cm
- Textura: todo franco arenoso
- Estrutura: moderada, blocos sub-angulares, pequenos
- Condutividade Hidráulica variando de 1.0 a 1,7 cm/h (boa).

TIPO 18

- Sondagem representativa: nº 31
- Condutividade elétrica em profundidade
 - até 30 cm – 2,2 mmho/cm
 - de 30 a 60 cm – 6,3 mmho/cm

- Textura
 - até 50 cm franco arenoso cascalhento com calhaus
 - de 60 a 90 cm franco arenoso cascalhento com muito calhaus
- Estrutura
 - fraca, blocos sub-angulares
 - Condutividade Hidráulica: não determinada.

SOLOS SALINOS até 40 – 50 cm de profundidade sobre camadas salino sódicas

Os solos assim classificados distribuem-se nas unidades Cachoeira, Complexo B e Malhada, ocupando uma área de 11,020 ha. distribuídos da seguinte maneira:

- Tipo 8 – 1,384 ha
- Tipo 9 – 3,172 ha
- Tipo 10 – 3,784 ha
- Tipo 13 – 2,680 ha

Dados gerais dos tipos identificados

TIPO 8

- Sondagem representativa: nº 32
- Condutividade elétrica e P.S.I. em profundidade.
 - até 40 cm – 15,0 mmho/cm – 7,8%
 - de 40 a 80 cm – 13,6 mmho/cm – 13,0%
- Textura
 - 0 – 40 cm – areia franca
 - 40 – 80 cm – franca arenosa
- Estrutura
 - Maciça a fraca

OBSERVAÇÕES

- O perfil apresentou-se úmido até 80 cm de profundidade a molhada nas camadas inferiores.

Não existe vegetação na área dominada pelo mesmo P.S.I. = Porcentagem de sódio intercambiável.

TIPO 9

- Sondagens representativas – nº 23 e 28
- Condutividade elétrica máxima e P.S.I. em profundidade
 - até 40 cm – 12,6 mmho/cm – 13,0%
 - de 40 a 80 cm – 6,3 mmho/cm – 26,3%
- Textura
 - 0 – 40 cm – areia franca
 - 40 – 80 cm – franco arenoso
- Estrutura
 - Maciça a fraca

OBSERVAÇÕES:

- Os perfis apresentaram-se úmidos nas camadas superiores e molhadas nas inferiores

Não existe vegetação na área representada pelos mesmos.

TIPO 10

- Sondagens representativas: nºs 24 e 25

- Condutividade elétrica máxima e P.S.I. em profundidade
até 50 cm – 5,2 mmho/cm – 6,2%
de 50 a 100 cm – 5,3 mmho/cm – 23,7%
- Textura
Todo franco arenoso
- Estrutura
Frac, blocos sub-angulares

OBSERVAÇÕES:

- Toda área representada por estes perfis encontram-se sem vegetação nativa e as plantas cultivadas não desenvolvem o seu crescimento.

TIPO 13

- Sondegens representativas: nºs 38 e 39
- Condutividade elétrica máxima e P.S.I. em profundidade
até 40 cm – 14,7 mmho/cm – 8,7%
de 40 a 80 cm – 13,6 mmho/cm – 21,5%
- Textura
Franco arenoso a franco argilo arenoso
- Estrutura
Franca a forte, blocos sub-angulares

OBSERVAÇÕES:

- Este tipo distribui-se nas unidades Cachoeira e Malhada Cortada

SOLOS SALINO – SÓDICOS a partir da superfície

Estes solos distribuem-se nas unidades Sitiá, Malhada Cortada e Lagoas e ocupam uma área de 13,872 ha com a seguinte correspondência, por tipo mapeado:

	UNIDADES	ÁREA (h)
Tipo 1	Sitiá	0,636
Tipo 2	Sitiá	1,616
Tipo 3	Sitiá e Malhada Cortada	0,692
Tipo 4	Sitiá e Malhada Cortada	0,544
Tipo 5	Sitiá	1,584
Tipo 6	Sitiá	1,220
Tipo 7	Sitiá e Lagoas	0,908
Tipo 11	Cachoeira	1,212
Tipo 12	Lagoas	0,944
Tipo 14	Malhada Cortada e Cachoeira	1,572
Tipo 15	Malhada Cortada-Solos não aluviais	2,944

Dados gerais sobre os tipos identificados:

TIPO 1

- Sondagem representativa: nº 8
- Condutividade elétrica e PSI, em profundidade
até 50 cm – 14,7 mmho/cm – 20,7%
de 50 a 100 cm – 4,5 mmho/cm – 30,5%
- Textura:
Todo franco arenoso
- Estrutura:
fraca, bloco sub-angulares

OBSERVAÇÕES:

- O perfil apresentou-se úmido até 50 cm de profundidade, muito úmido de 50 a 90 cm e melhado abaixo dos 90 cm.

O lençol frático está a 1,60 metro de profundidade.

TIPO 2

- Sondagem representativa: nº 9
- Condutividade elétrica e P.S.I. em profundidade
até 40 cm — 15, mmho/cm — 16,8%
de 40 a 80 cm — 15,0 mmho/cm — 13,7%
- Textura
todo franco arenoso
- Estrutura:
fraca blocos sub-angulares

OBSERVAÇÃO:

- Lençol frático a 1,60 m de profundidade

TIPO 3

- Sondagem representativa: nº 12
- Condutividade elétrica e P.S.I. em profundidade
até 30 cm — 13,0 mmho/cm — 27,7%
de 30 — 70 cm 7,3 mmho/cm — 34,1%
- Textura:
variando de franco arenoso a franco argilo arenoso
- Estrutura:
fraca, blocos sub-angulares.

OBSERVAÇÃO:

- A camada superior apresentou-se ligeiramente úmida, camadas inferiores úmidas.
Não existe vegetação na área representada pelo perfil

TIPO 4

- Sondagem representativa: nº 13
- Condutividade elétrica e P.S.I. em profundidade
até 40 cm — 15,0 mmho/cm — 52,3%
de 40 a 80 cm — 13,7 mmho/cm — 45,4%
- Textura:
variando de franco argilo arenoso a franco
- Estrutura:
fraca, blocos sub-angulares
- Relação ao HCl: forte em todas as camadas

OBSERVAÇÕES:

Não existia vegetação na área representada pelo perfil

TIPO 5

- Sondagem representativa: nº 17

- Condutividade elétrica e P.S.I. em profundidade
até 50 cm – 4,0 mmho/cm – 9,0%
de 50 a 100 cm 12,6 mmho/cm – 28,2%
- Textura:
Todo franco arenoso
- Estrutura:
Frac, blocos sub-angulares
- Reação ao HCl: efervescente a partir de 1,30 m. de profundidade

OBSERVAÇÃO:

- O perfil apresentou-se ligeiramente úmido até 1,00 m de profundidade e úmido nas camadas inferiores.

Não existia vegetação na área representada pelo perfil

TIPO 6

- Sondagem representativa: nº 17
- Condutividade elétrica e P.S.I. em profundidade
até 50 cm – 7,9 mmho/cm – 8,6%
de 50 a 100 cm – 7,0 mmho/cm – 20,5%
- Textura:
todo franco arenoso muito cascalhento
- Estrutura:
franca, blocos sub-angulares

OBSERVAÇÃO:

- Não existia vegetação na área representada pelo perfil

TIPO 7

- Sondagem representativa: nº 20 s
- Condutividade elétrica e P.S.I. em profundidade
até 40 cm – 2,9 mmho/cm – 31,0%
de 40 a 80 cm – 15,0 mmho/cm – 45,8%
- Textura:
Todo franco arenoso
- Estrutura:
Frac, blocos sub-angulares

OBSERVAÇÃO:

- O perfil apresentou-se ligeiramente úmido até 40 cm de profundidade e de muito úmido a molhada nas camadas subjacentes.

A exemplo dos perfis nºs 17s, 22, 23, 28 43 e 44 o perfil 20 apresentou fortes características de hidromorfismo. (mosqueado abundante e proeminente).

Não existia vegetação na área representada por este perfil.

TIPO 11

- Sondagem representativa: nº 27
- Condutividade elétrica e P.S.I. em profundidade
até 40 cm – 15,0 mmho/cm – 73,0%
de 40 a 80 cm – 15,0 mmho/cm – 81,7%

- Textura:
Todo franco arenoso
- Estrutura:
Maciça

OBSERVAÇÃO:

- A primeira camada (0 – 40 cm) apresentou-se úmida, as demais molhadas até 1,80 m de profundidade

Não existia vegetação na área representada por este perfil.

TIPO 12

- Sondagem representativa: nº 32
- Condutividade elétrica e P.S.I. em profundidade
até 40 cm – 40, mmho/cm – 9,5%
de 40 a 80 cm – 1,8 mmho/cm – 15,4%
- Textura:
0 – 40 cm – Areia franca
40 – 170 cm – franco arenoso cascalhento
- Estrutura:
Maciça

OBSERVAÇÃO:

- O perfil apresentou-se seco e duro até 80 cm de profundidade, úmido de 80 a 120 cm e molhado de 120 a 170 cm.

Não existia vegetação na área por ele representada.

TIPO 14

- Sondagem representativa: nº 43
- Condutividade elétrica e P.S.I. em profundidade
até 40 cm – 9,4 mmho/cm – 30,8%
de 40 a 80 cm – 15,0 mmho/cm – 41,5%
- Textura:
Franco arenoso
- Estrutura:
Maciça

OBSERVAÇÃO:

- O perfil apresentou-se seco na superfície com umidade crescendo em profundidade

Não existia vegetação na área representada pelo perfil.

TIPO 15

- Sondagem representativa: nº 44
- Condutividade elétrica e P.S.I. em profundidade
até 35 cm – 1,1 mmho/cm – 9,4%
de 35 a 70 cm – 0,9 mmho/cm – 13,7%
- Textura:
Franco arenoso na superfície e franco arenoso cascalhento nas camadas subjacentes
- Estrutura:
Maciça

OBSERVAÇÃO:

- A primeira camada do perfil apresentou-se seca e as demais úmidas.

3 – QUALIDADE DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

Analisando-se os resultados de laboratório referentes às amostras d'água coletadas no canal e nas quatro barragens auxiliares (anexo I) observa-se que:

- a) A água do açude CACHOEIRA II (amostra do canal) é boa pois apresenta condutividade elétrica de 466 micro mmho/cm e baixo teor de sódio ($C_2 S_1$), sendo a sua condutividade elétrica situada no ponto médio do intervalo definidor da classe C2 (250 e 750 micro mmho/cm a 25°C).
- b) As águas das barragens auxiliares apresentam maior concentração salina devido a dissolução dos sais existentes ao longo do leito do riacho e à evaporação. Em particular a água da barragem auxiliar nº 03 recebeu às águas de drenagem do lote nº 04 D aumentado consideravelmente a sua concentração salina.
- c) É fácil verificar que as diferenças entre a água do canal e a água das barragens auxiliares são relativamente grandes, pois na barragem auxiliar nº 01 a condutividade elétrica excede à do canal de 57 micromho, na barragem nº 02 o excesso é de 275 micromho, na barragem nº 03 o acréscimo é de 741 micromho e na barragem nº 04 é de 365 micromho.
- d) A correção dos solos salinos e salino-sódicos implicam em lavada com carreamento de sais pela — água, podendo-se deduzir que durante o período de melhoramento do solo as águas das barragens auxiliares sofrerão consideráveis aumentos na sua concentração de sais, desde que se considere o riacho como o coletor principal da drenagem.

4 – CORREÇÃO DA SALINIDADE DOS SOLOS

Para a correção da salinidade dos solos é fundamental a existência dos seguintes fatores:

- a) Conhecimento do tipo e grau de salinização do solo e da água
- b) Sistema de drenagem para satisfazer as condições do lavado e da retenção do freático a uma profundidade mínima de 1,50 metros.
- c) Condições para experimentação "IN LOCO" com o fim de definir o procedimento adequado para des-salinização e reabilitação dos solos.

O item a, objeto deste estudo, dá a definição do tipo e quantidade de corretivo necessário. Com base no estabelecido, anteriormente temos o seguinte quadro geral para correção dos solos:

Tipos numerados de 1 a 15 serão necessários gessagem e lavado.

Tipos 16, 17 e 18 é necessário só o lavado.

As quantidades de gesso, necessário para a correção dos diversos tipos de solos salino-sódicos identificados, encontram-se estabelecidos para profundidade de 40, 50, 60, 70 e 80 cm no quadro nº 02.

A quantificação da água necessária para a lixiviação dos sais do solo não é definida na bibliografia consultada. Mas, é feita a relação entre a salinidade da água e a necessidade de lixiviação dos sais de água que ficariam depositados no solo se não fossem procedidos o lavado (artificial ou pela água da chuva) e a retirada de sais pelas plantas. Esta é dada pela equação abaixo:

$$P_{ai} = \frac{EC_{ad}}{EC_{ad} - EC_{ai}} P_{uc}$$

P_{ai} — Lâmina de irrigação indicada para o lavado

EC_{ai} — Condutividade elétrica da água de drenagem

(= Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo).

EC_{ai} — Condutividade elétrica da água usada

P_{uc} — Uso consuntivo

É evidente que para a remoção de sais do solo a lâmina de irrigação deve ser maior que a indicada acima, pois aquela é indicada para remover os sais depositados, apenas, **pela água de irrigação**. Ainda, é obvio que após o tratamento dos solos salinos-sódicos com gesso a lâmina de irrigação indicada deve ser maior que esta última, pois com a reação química que se processa ocorre a formação de sulfato de sódio no solo que deve ser lixiviado.

A eficiência do lavado está também relacionada à permeabilidade do solo. A definição desta não foi efetuada no presente estudo, pois acredita-se que esta prática deve ser feita após a sub-solagem que é recomendada para toda a área a ser corrigida.

Quanto ao **item B** é necessário um estudo complementar para definição da rede de drenagem profunda, pois os drenos existentes não atendem às necessidades em profundidade e, talvez, em quantidade. Justifica-se esta acervativa pelo fato de que os drenos existentes têm a finalidade de atender ao escoamento das águas pluviais. Faz-se excessão apenas a um dreno subterrâneo construído na área do lote nº 4D.

Em referência ao **item C** – condições para experimentação “in loco” deve-se consultar o setor especializado sobre a viabilidade das mesmas. A priori, tem-se que a área a ser corrigida abrange aproximadamente 30 ha o que dá margem a que se pondere as duas alternativas, relacionadas abaixo, para a execução dos trabalhos.

Alternativa 1 – Execução dos trabalhos direta e globalmente.

Alternativa 2 – Execução de experimentos em pequenas glebas previamente selecionadas visando a extrapolação posterior para toda a área.

A alternativa 2 apresenta uma grande vantagem sobre a outra, que é definir a baixo custo a viabilidade técnica e econômica da reabilitação dos solos que se encontram mais sodificados.

5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Durante este estudo foram feitas 65 (sessenta e cinco) sondagens o que possibilitou diagnosticar solos salinos e salinos-sódicos, que ocupam uma área de aproximadamente 30 (trinta) ha correspondentes a 20% da área total do perímetro.

Além das recomendações feitas no **item 4** é ponderável ainda que, se ocorre impedimento à correção dos solos devido à baixa permeabilidade, alto lençol freático etc., seja feita uma seleção de culturas que possam produzir satisfatoriamente mesmo em condições de salinidade.

Não é recomendável nos solos que apresentam grandes diferenças no grau de salinização entre as duas primeiras camadas que se processem arações profundas. Este procedimento impedirá que camadas inferiores de alta salinidade sejam trazidas a superfície aumentando a salinidade desta.

De acordo com as características dos solos da área salinizada e a tolerância das plantas à salinidade (anexo 1) são mais indicados, atualmente, os seguintes cultivos para os tipos de solos:

Tipos de 1 a 15 – “Capim trigo alto”

Tipos 16,17, 18 – “Capim bermuda”

A introdução de outras culturas deve ser feita de acordo com a reposta do solo ao tratamento que receber.

Pode-se aproveitar a ocorrência de solos com alta salinidade para, com efetivação de “ensaios de rendimento”, aferir a sua aptidão cultural para as plantas regionais que não constam dos quadros de tolerância à salinidade anexos a este relatório.

— As áreas mais salinizadas localizam-se nas proximidades das pontes da REFFSA e da BR-232 sendo provável, por este fato, que o impedimento da drenagem natural, ocasionado pelos aterros das referidas pontes, motivou a elevação do lençol freático no local resultando nos afloramentos salinos verificados. Assim, estas áreas deverão receber maiores cuidados quando da realização dos estudos de drenagem.

— Para os solos salino-sódicos é recomendável que se processe primeiramente a incorporação do gesso e em seguida o lavado, visando a conservação das condições atuais da permeabilidade do solo.

— No estudo da drenagem deve-se considerar a influência das barragens na elevação do nível freática devendo este ter profundidade mínima de 1,50 metros.

QUADRO GERAL DO ESTUDO

CLASSIFICAÇÃO	ÁREA (ha)	PRÁTICAS CORRETIVAS
SOLO SALINO até 100 cm Tipo 16 de profundidade com subs Tipo 17 trato salino-sódico. Tipo 18	2,284 0,744 1,164	Lavado
SOLO SALINO até 40/50 cm Tipo 8 de profundidade sobre - Tipo 9 camadas salino-sódicas Tipo 10 Tipo 13	1,384 3,172 3,784 2,680	Incorporação de gesso e lavado
SOLO SALINO SÓDICO a Tipo 1 partir da superfície Tipo 2 Tipo 3 Tipo 4 Tipo 5 Tipo 6 Tipo 7 Tipo 11 Tipo 12 Tipo 14 Tipo 15	0,636 1,616 0,692 0,544 1,584 1,220 0,908 1,212 0,944 1,572 2,944	Incorporação de gesso e lavado

SUPERFÍCIE TOTAL

29,084 ha

6 – BIBLIOGRAFIA

- (1) U. S. SALINITY LABORATORY STAFF. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. U. S. Dept. of Agriculture, Handbook nº 60. Washington D.C., **1954**.
- (2) FERREIRA, Antonio Sérgio e WANDERLEY, Geraldo – Projeto Cachoeira II – Aproveitamento Hidro-Agrícola do Açude Público Cachoeira II – Pernambuco – Estudo agrológico Vol. I, **1970**, 200 p.
- (3) SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO – Manual de Método de Trabalho de Campo, Rio de Janeiro, **1967**.
- (4) U. S. DEPARTMENT OF INTERIOR. Buereau of Reclamation Manual, Vol. V, on Irrigated Land Use. Denver, Colorado, **1953**.
- (5) U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Soil Survey Manual. Washington D. C. (U. S. D. A. – Handbooh nº 18).
- (6) E.P.F.S. (C. P. P. – EMBRAPA)/SUDENE – DRN. Mapa Exploratório Reconhecimento dos Solos dos Estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. Recife, **1968**.
- (7) SOUZA, Renival A. Qualidade da Água de Irrigação – Controle da Salinidade do Solo e sua Reabilitação. Recife, **1971**, 66, p., inclui bibliografia.

PERÍMETRO DE IRRIGAÇÃO DO CACHOEIRA II
SOLOS AFETADOS PELO SAL.

Nº DO PROTOCOLO	PERFÍL	PROFUNDIDADE EM	pH	Ext. de Saturação		OBSERVAÇÃO
				Condutancia CE x 10 ³ a 25° C	PSI	
10.424	Sls- I	0 - 30	5,7	7,8	8,6	sódico salino
425	II	30 - 60	7,0	13,6	17,6	"
426	III	60 - 90	8,0	10,5	22,4	"
427	IV	90 -120	8,1	10,5	24,0	"
10.440	S4 - I	0 - 50	6,7	10,5	2,3	salino
441	II	50 -100	6,7	7,9	4,8	"
442	III	100-150	7,5	7,3	5,6	"
443	IV	150-200	7,9	6,8	5,4	"
10.458	SS - I	0- 50	6,7	14,7	20,7	sódico salino
459	II	50- 90	8,9	4,5	30,5	"
460	III	90 -125	8,8	4,2	34,4	"
461	IV	125-160	8,5	4,0	34,7	"
10.466	S9 - I	0- 40	7,2	15,0	16,8	"
467	II	40- 80	7,0	15,0	13,7	"
468	III	80-120	8,0	15,0	37,7	"
469	IV	120-160	8,4	15,0	38,9	"
10.470	S12 -I	0 -30	6,7	15,0	27,7	"
471	II	30- 70	8,4	7,3	34,1	"
472	III	70-110	9,5	3,4	25,0	sódico
473	IV	110-150	9,4	2,9	33,3	"
10.474	S13- I	0- 40	7,9	15,0	52,3	sódico salino
475	II	40- 80	9,0	13,7	45,4	"
476	III	80-120	9,4	6,3	44,7	"
477	IV	120-160	9,5	4,7	40,1	"
10.482	S15- I	0 - 50	6,5	4,2	2,2	Salino
483	II	50 -100	7,4	5,3	11,6	"
484	III	100-150	9,1	5,8	36,1	salino sódico
485	IV	150-200	9,1	4,7	22,3	"

PERÍMETRO DE IRRIGAÇÃO DO CACHOEIRA II
SOLOS AFETADOS PELO SAL.

Nº DO PROTOCOLO	PERFIL	PROFUNDI DADE EM	p ^H	Ext. de Saturação		OBSERVAÇÃO
				Condutancia CE x 103 a 25° C	PSI	
10.490	S16 -I	0 - 50	6,6	1,9	0,8	
491	II	50- 100	8,1	2,9	11,3	
492	III	100-150	8,9	5,2	30,0	salino-sédico
493	IV	150-200	9,1	5,2	26,2	"
10.494	S17 -I	0 - 50	6,7	4,0	9,0	salino
495	II	50- 100	7,7	12,6	28,2	salino sódico
496	III	100-150	8,9	10,5	42,2	"
497	IV	150-200	9,2	6,3	42,0	"
10.498	S17s I	0 - 50	5,3	7,9	8,6	salino
499	II	50-100	6,7	9,0	20,5	salino sódico
500	III	100-150	8,8	6,8	33,6	/
501	IV	150-200	9,4	6,3	38,6	"
10.510	S19 -I	0 - 60	6,2	0,7	2,3	"
511	II	60 -110	9,0	2,2	28,1	sódico
512	III	110-150	9,2	2,3	20,6	"
513	IV	150-200	9,3	2,7	25,0	"
10.518	S20s I	0 - 40	6,7	2,9	31,0	"
519	II	40 - 80	7,9	15,0	45,8	salino sódico
520	III	80- 120	8,1	11,5	54,8	"=
521	IV	120-160	8,4	15,0	55,7	"
10.526	S22- I	0 - 40	6,3	15,0	7,8	salino
527	II	40 - 80	6,7	13,6	13,0	"
528	III	80- 120	7,1	11,5	15,0	salino sódico
529	IV	120-170	8,0	10,5	17,5	"
10.530	S23 -I	0 - 40	5,7	12,6	13,0	"
531	II	40 - 80	7,8	4,2	23,6	"
532	III	80 -120	9,3	4,0	26,7	"
533	IV	120-170	9,9	3,1	24,7	"

PERÍMETRO DE IRRIGAÇÃO DO CACHOEIRA II
SOLOS AFETADOS PELO SAL.

Nº DO PROTOCOLO	PERFÍL	PROFUNDI DADE EM	pH	Ext. de Saturação		OBSERVAÇÃO
				Condutancia CE x 103 a 25° C	PSI	
10.534	S24 - I	0 - 30	7,5	1,7	2,5	
535	II	30 - 60	7,6	3,3	10,5	sódico salino
536	III	60 - 90	7,1	11,5	20,1	salino sódico
537	IV	90 - 120	7,9	12,6	27,0	"
10.538	S25 - I	0 - 50	7,2	5,2	6,2	salino
339	II	50 - 100	8,7	5,3	23,7	sódico salino
540	III	100- 150	9,6	3,7	27,1	sódico
541	IV	150- 200	9,5	2,6	26,9	"
10.542	S26 - I	0 - 50	7,1	1,5	2,3	
543	II	50 - 100	7,8	6,3	9,4	salino
544	III	100- 150	8,3	8,4	27,2	sódico salino
545	IV	150- 200	8,9	7,3	22,3	"
10.546	S27 - I	0 - 40	9,5	15,0	73,0	"
547	II	40 - 80	10,4	15,0	81,7	"
548	III	80 - 130	10,4	15,0	83,9	"
549	IV	130- 180	9,7	8,4	56,0	"
10.550	S28 - I	0 - 40	7,0	2,3	4,8	
551	II	40 - 80	7,3	6,3	26,3	sódico salino
552	III	80 - 120	9,5	3,0	25,5	sódico
553	IV	120- 170	9,7	3,5	48,2	"
10.558	S32 - I	0 - 40	7,2	4,0	9,5	sódico salino
559	II	40 - 80	8,4	1,8	15,4	sódico
560	III	80 - 120	9,0	1,8	25,4	"
561	IV	120- 170	9,8	1,9	25,4	"
10.582	S38 - I	0 - 40	6,5	14,7	8,7	salino
582	II	40 - 80	7,6	13,6	20,7	sódico salino
584	III	80 - 130	7,3	15,0	12,0	"
585	IV	130- 180	8,4	12,6	35,0	"

PERÍMETRO DE IRRIGAÇÃO DO CACHOEIRA II
SOLOS AFETADOS PELO SAL;

Nº DO PROTOCOLO	PERFÍL	PROFUNDI DADE EM	PH	Ext. de Saturação		OBSERVAÇÃO
				Condutância CE x 130 a 25° C	PSI	
10.586	S39 - I	0 - 40	6,6	1,0	5,2	
587	II	40 - 80	7,0	2,9	21,5	sódico
588	III	80 - 120	8,3	3,0	28,9	"
589	IV	120-170	8,1	4,2	31,3	sódico salino
10.602	S43 - I	0 - 40	7,6	9,4	30,8	"
603	II	40 - 80	8,1	15,0	41,5	"
604	III	80 - 120	7,6	15,0	46,6	"
605	IV	120- 170	7,5	13,6	47,0	"
10.606	S44 - I	0 - 35	8,3	1,1	9,4	
607	II	35 - 70	9,2	0,9	13,7	sódico
608	III	70 - 110	-	1,0	10,9	
609	IV	110- 180	8,4	3,2	27,3	"
10.618	S48 - I	0 - 40	6,3	0,9	1,0	
619	II	40 - 80	6,9	0,4	3,9	
620	III	80 - 130	9,8	1,3	18,0	sódico
621	IV	130- 180	9,7	2,3	26,0	"
10.634	S53 - I	0 - 40	7,6	2,5	2,2	
635	II	40 - 80	7,8	4,2	24,9	sódico salino
636	III	80 -	-	-	-	-
637	IV	120- 170	8,4	6,3	42,5	"
10.638	S54 - I	0 - 40	6,9	0,7	1,2	
643	II	40 - 80	8,2	1,5	13,2	sódico
644	III	80 - 100	8,0	5,0	24,4	sódico salino
645	IV	100- 150	7,4	6,3	27,1	"
10.670	S33s - I	0 - 50	7,3	1,0	1,1	
671	II	50 - 100	7,7	4,3	1,9	salino
672	III	100- 150	7,7	7,3	6,9	"
673	IV	150 -200	7,9	10,5	12,5	sódico salino

PERÍMETRO DE IRRIGAÇÃO DO CACHOEIRA II
SOLOS AFETADOS PELO SAL.

Nº DO PROTOCOLO	PERFIL	PROFUNDI DADE EM	p ^H	Ext. de Saturação		OBSERVAÇÃO
				Condutancia CE x 103 a 25° C	PSI	
10.678	S31 - I	0 - 30	6,1	2,2	8,2	salino sódico salino
679	II	30 - 60	7,5	6,3	8,3	
680	III	60 - 90	8,3	5,8	24,4	
681	IV	90 - 120	9,2	4,2	23,6	

ANEXO – 1

RESULTADOS DAS ANÁLISES DE SOLO E ÁGUA

Os Perfis com a seguinte numeração S1 - S2 - S2b - S3 - S5 - S5s - Sb - S7 - S10 - S14 - S15 - b - S18 - S20 - S21 - S30 - S33 - S34 - S35 - S36 - S37 - S40 - S41 - S42 - S45 - S46 - S49 - S50 - S51 - S53 - S55 - S56 - S57 - S58 - S59 - S60 - S47., apresentaram-se com teores insignificantes de sais e sódio trocável.

MINISTÉRIO DO INTERIOR
DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS
3ª DIRETORIA REGIONAL

CERTIFICADO Nº 7/73-A

Recife, 16/02/73

ANÁLISE DE ÁGUA

Procedência: Canal 1-1 a Açude Cachoeira II
Interessado: 3DR/DI/SESA/SS
Finalidade: Irrigação

A amostra foi coletada pelo interessado em data não mencionada, tendo dado entrada neste Laboratório em 26-01-73, acondicionada em depósito plástico de 1.000 ml.

RESULTADOS

Em me/l

pH	7,9
Condutividade Elétrica em micromhos/cm a 25 °C	466
Condutividade Elétrica em milimhos/cm a 25 °C.	0,466 (A)
Cations solúveis $\approx$ 10xA	4,66 (B)
Cálcio + Magnésio.	2,44 (C)
Sódio Solúvel — B-C.	2,22
Relação de adsorção de Sódio	2,00
Carbonatos + Bicarbonatos	2,14 (D)
Carbonato de Sódio Residual — D-C	negativo
Boro em ppm	—
Classificação da água	C2S1

Interpretação:

Água de média salinidade e baixo teor de sódio.

MINISTÉRIO DO INTERIOR
DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS
3ª DIRETORIA REGIONAL

CERTIFICADO Nº 10/73-A

Recife, 16/02/73

ANÁLISE DE ÁGUA

Procedência: Barragem 1 — 2 — Açude Cachoeira II
Interessado: 3DR/DI/SESA/SS
Finalidade: Irrigação

A amostra foi coletada pelo interessado em data não mencionada, tendo dado entrada neste laboratório em 26-1-73, acondicionada em garrafa de vidro de 1.000 ml.

RESULTADOS

Em me/l

pH	7,9
Condutividade Elétrica em micromhos/cm a 25°C	523
Condutividade Elétrica em milimhos/cm a 25°C	0,523 (A)
Cations solúveis — 10	5,23 (B)
Cálcio + Magnésio	2,72 (C)
Sódio Solúvel — B-C	2,51
Relação de Adsorção de Sódio	2,15
Carbonatos + Bicarbonatos	2,40 (D)
Carbonato de Sódio Residual — D-C	negativo
Boro em ppm	—
Classificação da água	C ₂ S ₁

Interpretação:

Água de média salinidade e baixo teor de sódio.

MINISTÉRIO DO INTERIOR
DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS
3ª DIRETORIA REGIONAL

CERTIFICADO Nº 12/73-A

Recife 16/02/73

ANÁLISE DE ÁGUA

Procedência: Barragem 2-2 — Açude Cachoeira II
Interessado: 3DR/DI/SESA/SS
Finalidade: Irrigação

A amostra foi coletada pelo interessado em data não mencionada, tendo dado entrada neste laboratório em 26-01-75, acondicionada em garrafa de vidro comum de 1.000 ml.

RESULTADOS

Em me/l

pH	8,2
Condutividade Elétrica em micromhos/cm a 25°C	741
Condutividade Elétrica em milimhos/cm a 25°C	0,741 (A)
Cations solúveis — 10x A	7,41 (B)
Cálcio + Magnésio	4,06 (C)
Sódio Solúvel — B-C	3,35
Relação de Adsorção de Sódio	2,35 (D)
Carbonatos + Bicarbonatos	2,70
Carbonato de Sódio Residual — D-C	negativo
Boro em ppm	—
Classificação da água	C ₂ S ₁

Interpretação:

Água de média salinidade e baixo teor de sódio.

MINISTÉRIO DO INTERIOR
DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS
3ª DIRETORIA REGIONAL

CERTIFICADO Nº 13/73-A

Recife, 16/02/73

ANÁLISE DE ÁGUA

Procedência: Barragem 3-1 — Açude Cachoeira II
Interessado: 3DR/DI/SESA/SS
Finalidade: Irrigação

A amostra foi coletada pelo interessado em data não mencionada, tendo dado entrada neste laboratório em 26-01-73, acondicionada em depósito plástico 1.000 ml.

RESULTADOS

Em me/1

pH	8,0
Condutividade Elétrica em micromhos/cm a 25°C	1,117
Condutividade Elétrica em milimhos/cm a 25°C	1,1117 (A)
Cations solúveis — 10xA	11,17 (B)
Cálcio + Magnésio	5,48 (C)
Sódio Solúvel — B-C	5,69
Relação de Adsorção de Sódio	3,44
Carbonatos de Sódio Residual — D-C	negativo
Carbonatos + Bicarbonatos	4,02 (D)
Boro em ppm	—
Classificação da água	C3S1

Interpretação:

Água de alta salinidade e baixo teor de sódio.

MINISTÉRIO DO INTERIOR
DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS
3ª DIRETORIA REGIONAL

CERTIFICADO Nº 15/73-A

Recife, 16/02/73

ANÁLISE DE ÁGUA

Procedência: Barragem 4-1 — Açude Cachoeira II
Interessado: 3DR/DI/SESA/SS
Finalidade: Irrigação

A amostra foi coletada pelo interessado em data não mencionada, tendo dado entrada neste Laboratório em 26-01-73, acondicionada em depósito plástico de 1.000 ml.

RESULTADOS

Em me/1

pH	8,0
Condutividade Elétrica em micromhos/cm a 25°C	831
Condutividade Elétrica em milimhos/cm a 25°C	0,831 (A)
Cations solúveis — 10xA	8,31 (B)
Cálcio + Magnésio	3,51 (C)
Sódio Solúvel — B-C	4,80
Relação de Adsorção de Sódio	3,62
Carbonatos + Bicarbonatos	3,16 (D)
Carbonato de Sódio Residual — D-C	negativo
Boro em ppm	—
Classificação da água	C2S1

Interpretação:

Água de alta salinidade e baixo teor de sódio.

ANEXO – 2

QUADROS DE TOLERÂNCIA DAS PLANTAS À SALINIDADE DOS SOLOS

ANEXO 2.3

TOLERÂNCIA À SALINIDADE (50% DE REDUÇÃO NA COLHEITA)

ALTA	MÉDIA	BAIXA
Tâmara	Romã Figo Oliva Uva Melão	Pera Laranja Grapefruit Ameixa Amêndoa Apricó Pêssego Morango Limão Abacate

As indicações sobre tolerância das culturas à salinidade são elaboradas para as condições dos EE.UU. e sua aplicação para o Nordeste do Brasil pode não apresentar resultados satisfatórios.

De um modo geral todos os conceitos e informações contidas neste trabalho são resultantes de estudos e pesquisas realizadas nos EE.UU. e sua extensão para outros países estará condicionada a comprovação de sua eficácia em outras condições. Assim, este resumo tem o objetivo de oferecer algumas noções sobre salinidade relacionada com irrigação, as quais poderão servir de guia durante os estudos que antecedem a irrigação e posteriormente, nos desenvolvimentos dos projetos de agricultura irrigada.

ANEXO – 2.4

TOLERÂNCIAS DE VÁRIAS CULTURAS À PRESENÇA DO SÓDIO TROCÁVEL

GRAU DE TOLERÂNCIA	% Na + Intercambiável (P.S.I.)	CULTURAS	ASPECTOS DAS PLANTAS NAS CONDIÇÕES DE CAMPO
Extremamente sensível	2 – 10	Frutos (que caem quando maduros). Citrus e abacate	Sintomas de intoxicação com sódio a baixo P.S.I.
Sensível	10 – 20	Feijão	A planta não desenvolve plenamente à baixa P.S.I. mesmo em condições de estrutura do solo.
Moderadamente tolerantes	20 – 40	Trevo forrageiro Aveia, Palha, Arroz e Grama de Jardim.	As plantas não desenvolvem plenamente devido a fatores nutricionais e à pobreza de estrutura do solo.
Tolerantes	40 – 60	Trigo, Algodão, Alfafa, Cevada, Tomate e Beterraba	Comumente as plantas n/ desenvolvem plenamente devido a falta de estrutura no solo.
Muito Tolerantes	6	Capim Trigo - Capim Rhodes	– Idem –

PERDAS POR INFILTRAÇÃO NO CANAL ADUTOR DO SISTEMA MORADA NOVA

Luiz Hernani de Carvalho *
Mário Borges Mamede Neto **

1 – INTRODUÇÃO

Um problema que surge, de capital importância na irrigação através de canais de terra, é o da descarga freática. Assim é que num sistema de irrigação, constituído de canais adutores, primários, secundários etc., as perdas por infiltração chegam a ser tais que, por vezes, a água utilizada atinge cerca de metade daquela entregue aos canais adutores.

O assunto se reveste de tamanha magnitude que tem sido explorado por diversos pesquisadores, embora não tenham surgido soluções satisfatórias, talvez pela complexidade com que se apresenta o estudo analítico do fenómeno.

Desde Kozeny, que caracterizou as linhas de fluxo da descarga freática num canal, como sendo segmentos de círculos, a partir do perímetro molhado do mesmo, ensaios outros têm-se apresentado. Jeppson estudou o canal assente sobre um aterro, confinado por um estrato permeável e procurou a solução do problema através do Método das Diferenças Finitas. Hammad estudou o assunto, considerando uma série de canais de forma não definidas e tentou a solução por métodos de aproximações sucessivas.

El Nimr, usou o MÉTODO DO HODÓGRAFO INVERTIDO, para canais triangulares. Morel-Seytoux estudou canais retangulares e trapezodais.

Bouwer analisou os canais trapezodais, segundo suas características geométricas e a posição do lençol freático, levando em consideração, o caso especial de ser o canal construído com um revestimento de baixa permeabilidade.

Garg e Chawla, usando a função de Zhukov, procuraram obter a solução correta para canais trapezodais, embora aquela função tenha suas limitações.

Polubarinova-Kochina, apresenta soluções analíticas para várias situações.

2 – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

O canal adutor do Sistema Morada Nova, possui, como seção média, tomada para modelo, do presente estudo, as seguintes características geométricas:

$$\begin{aligned} B &= 8,80 \text{ m} \\ B_1 &= 4,00 \text{ m} \\ H &= 1,60 \text{ m} \\ &= \text{Cotg } 15 \\ D &= 2,00 \text{ m} \end{aligned}$$

Possui um revestimento de cerca de 5 cm, de espessura em concreto ordinário, cuja dosagem especificada é de ordem de 275 kg/m^2 . O agregado utilizado é de seixo rolado, com diâmetro inferior a 40 mm.

O aterro dos diques laterais é constituído de material retirado do próprio local, que se apresenta como solo argilo-arenoso, contendo matéria orgânica, com permeabilidade média $K = 2 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$.

Possui juntas de dilatação e retração verticais para cada quatro metros, de cerca de 40 cm de espessura, constituídas de concreto asfáltico, como proteção às sub-pressões decorrentes de esvaziamento rápido.

Os perfis encontram-se ora escavados, ora em meio aterro, e por vezes inteiramente construídos em aterro.

Estão geralmente munidos de bermas de 2 metros de largura, no coroamento, com taludes de 1:1, revestidos de vegetação.

* Engenheiro — Chefe da Divisão de Barragens do DNOCS.

** Engenheiro — Chefe da Divisão de Estudos e Projetos da 2a DR do DNOCS.

Para a elaboração do projeto executivo do canal adutor, foram executadas sondagens, cujos perfis constam dos desenhos nºs 01 a 09.

Abaixo da cota mínima sondada, o material permanece, normalmente, com características de alta permeabilidade, podendo-se pois considerar o meio como **não confinado**.

3 – OCORRÊNCIA DE SATURAÇÃO DO MACIÇO

O Canal Adutor vem sendo utilizado, há cerca de 06 anos, tendo surgido, com sua operação, a saturação do maciço, ocasionando, em alguns trechos, a obstrução da estrada lateral ao canal.

Tal fenômeno aconteceu em vários trechos do canal, alguns dos quais correspondendo a perfis mistos, isto é, corte e aterro.

Com o passar dos anos de utilização, o processo têm-se acelerado, advindo daí, a necessidade de uma solução ao problema.

4 – PLANO DE TRABALHO PARA MINORAR OS EFEITOS OCORRIDOS

Pretendendo-se estimar as perdas ora ocorrentes, com vistas às disponibilidades futuras, face às necessidades do sistema, e atentando para a iminente possibilidade de um possível colapso do sistema adutor, programou-se um plano de trabalho, constante das seguintes etapas:

- Combate imediato às zonas críticas;
- Determinação experimental das perdas ora ocorridas;
- Avaliação teórica das perdas por percolação, para o caso específico;
- Comparação dos dados teóricos e experimentais;
- Estudos finais conclusivos para eliminar as perdas excessivas.

4.10 – COMBATE IMEDIATO ÀS ZONAS CRÍTICAS

Com a saturação de alguns trechos do maciço e o afloramento da superfície livre de percolação, nos trechos em aterro acima do pé do talude, iniciou-se a erosão deste, danificando inclusive a estrada de serviço, lateral ao canal adutor.

Face a um possível colapso do canal, aliado ao fato de ter-se a estrada continuamente interrompida, procedeu-se a uma imediata solução ao caso em pauta. Para tanto sugeriu-se a modificação parcial do aterro por um solo argilo-arenoso tipo CL, compactado mecanicamente, segundo o Proctor Normal, à umidade mais ou menos um por cento da ótima. Isto, face ao material existente com apreciável porcentagem de matéria orgânica, o que viria dificultar a recuperação da zona afetada.

Procedeu-se à confecção de um tapete filtrante, envolvendo a berma a ser reconstruída, com as seguintes características:

- espessura — 0,30 cm;
- granulometria uniforme;
- permeabilidade $K = 10^{-2}$ cm/seg.

Com o tapete, assegurou-se, de pronto, o rebaixamento da superfície freática evitando-se, conseqüentemente a saturação da saia do maciço.

4.20 – AVALIAÇÃO TEÓRICA DAS PERDAS POR PERCOLAÇÃO

Adotou-se no presente estudo, o laborioso, mas excelente método, do pesquisador V. Verdenikov, cuja aplicação analítica, abrange as mais diversas situações.

Propôs-se pois, à solução do problema, o Método das Inversões.

Para o canal esquematizado na fig. 11, obteve-se o hodógrafo das velocidades, (fig. 12)

Para tanto, verifica-se que: a) — ao longo de bc, tem-se potencial $\phi = c \cdot te$.

O vetor velocidade representativo da descarga freática, ao longo do limite bc, é perpendicular a este limite.

O parâmetro bc, fica pois, definido pelas equações:

CANAL ADUTOR DE MORADA NOVA

SONDAGEM

(PERFIL TRANSVERSAL 99)

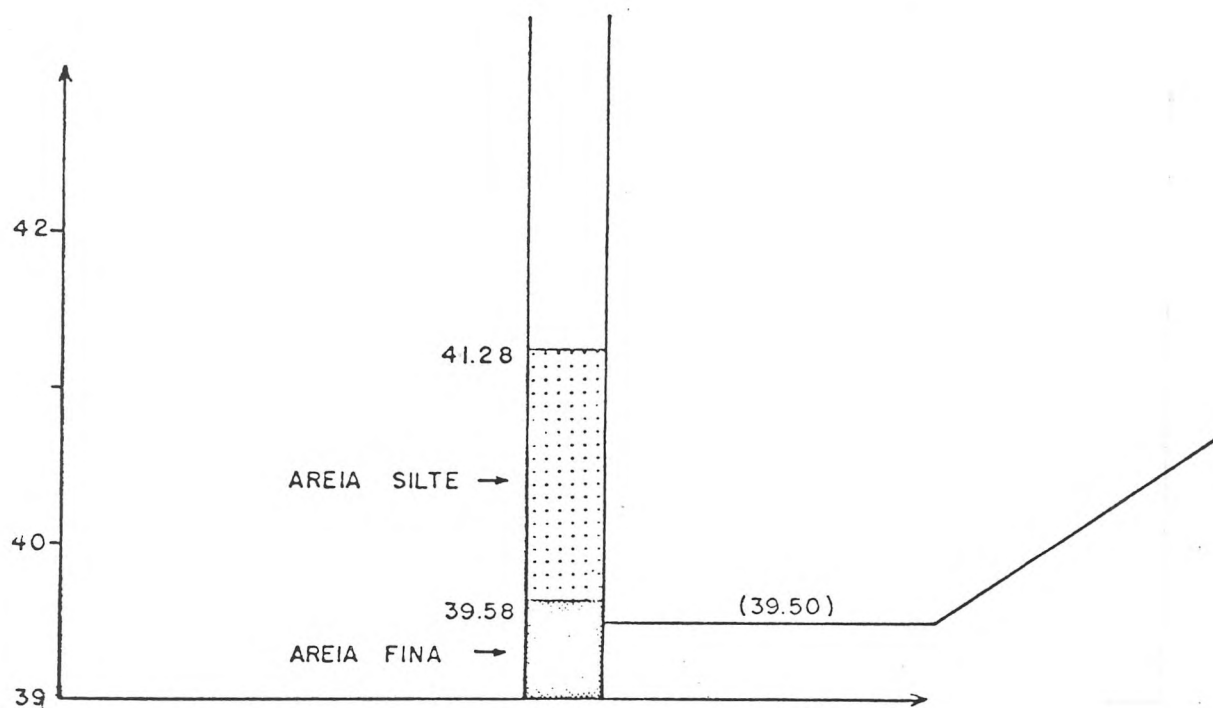


Fig. 1

SONDAGEM

(PERFIL TRANSVERSAL 109)

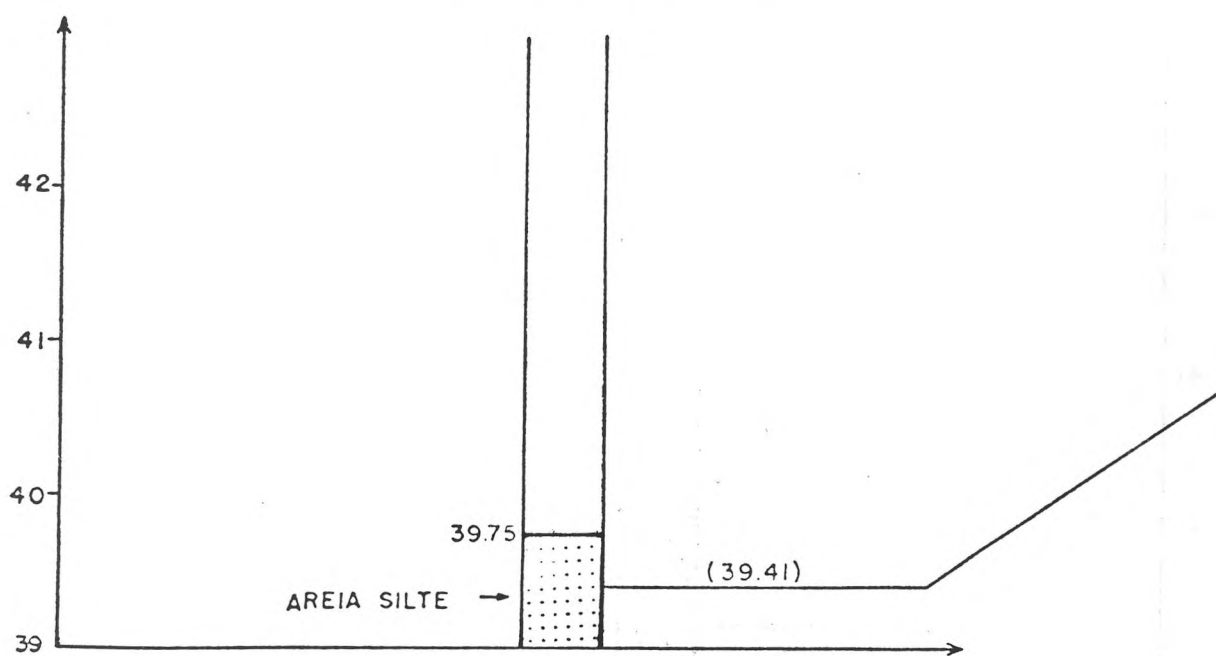


Fig. 2

CANAL ADUTOR DE MORADA NOVA

SONDAGEM (PERFIL TRANSVERSAL 36)

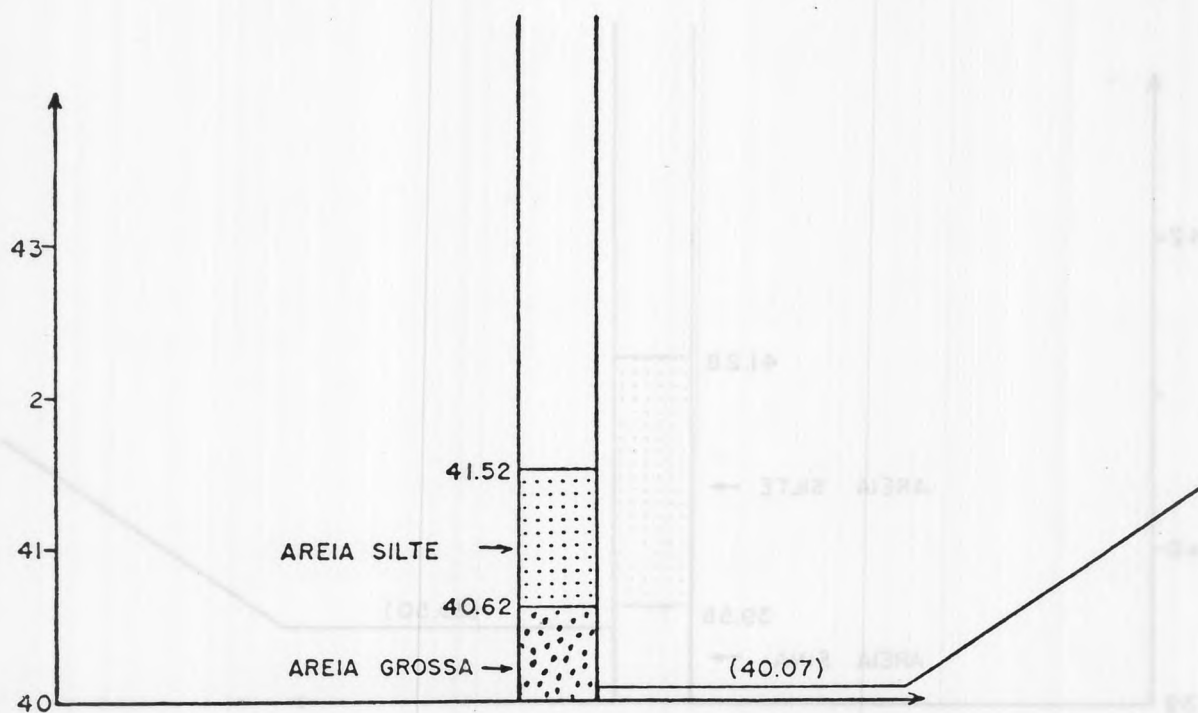


Fig. 3

SONDAGEM (PERFIL TRANSVERSAL 52)

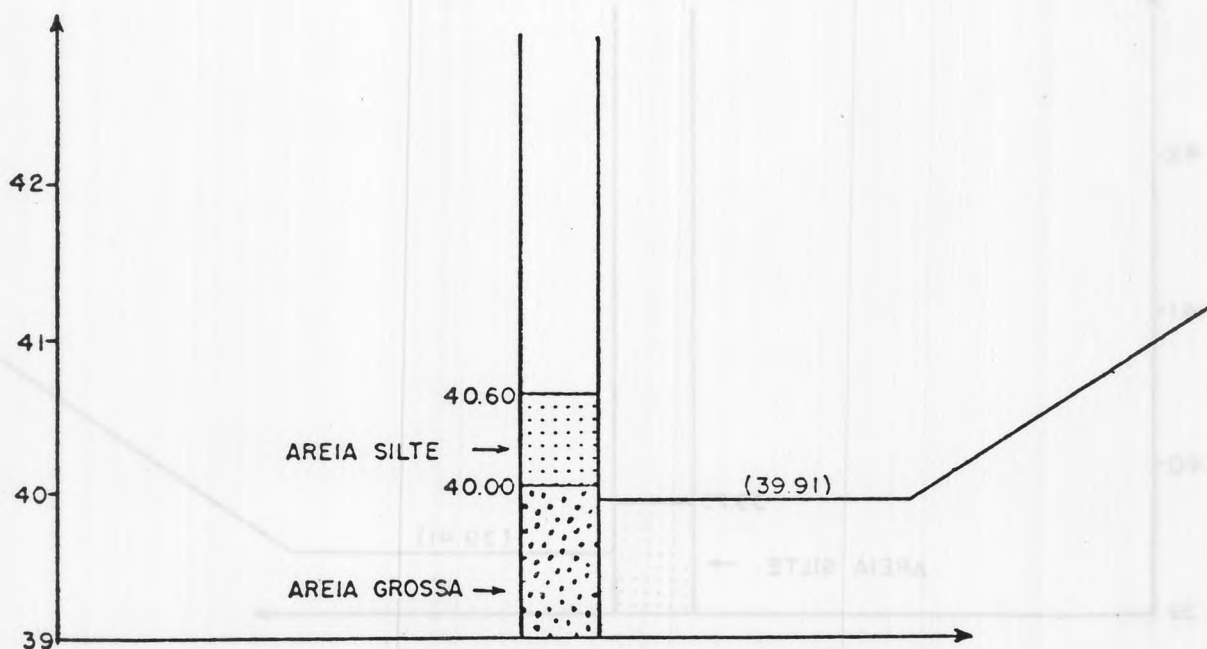


Fig. 4

CANAL ADUTOR DE MORADA NOVA

SONDAGEM (PERFIL TRANSVERSAL 1')

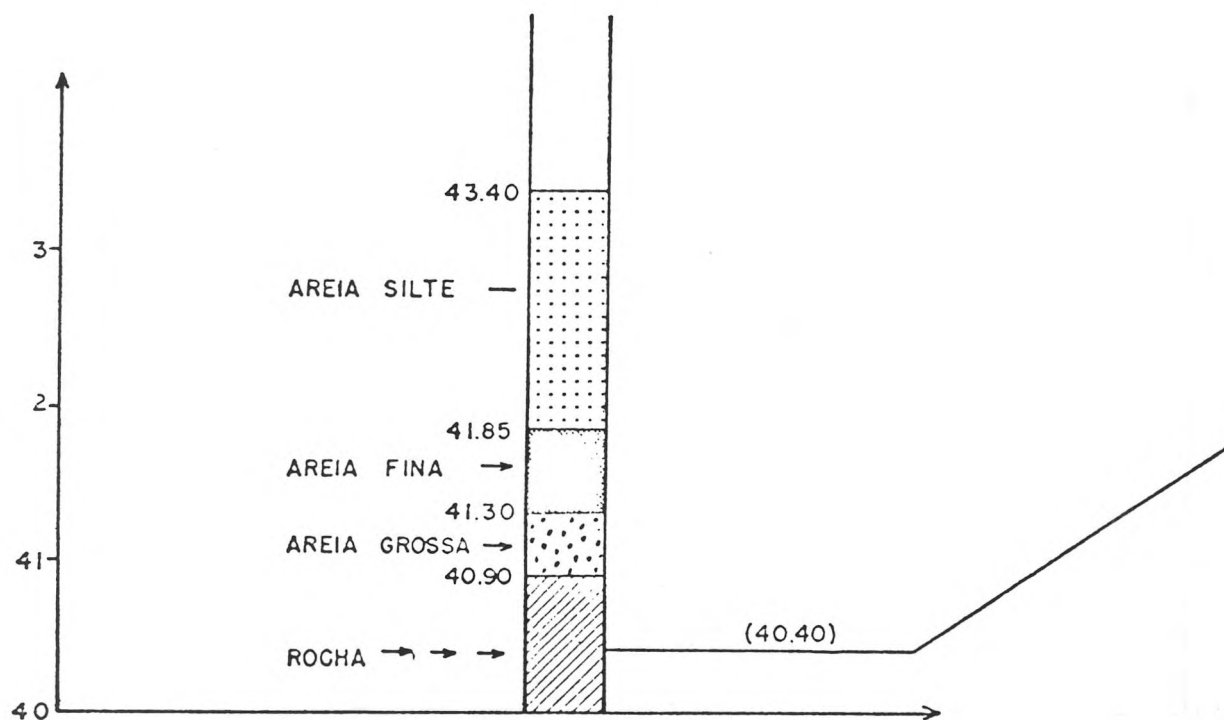


Fig. 5

SONDAGEM (PERFIL TRANSVERSAL 14)

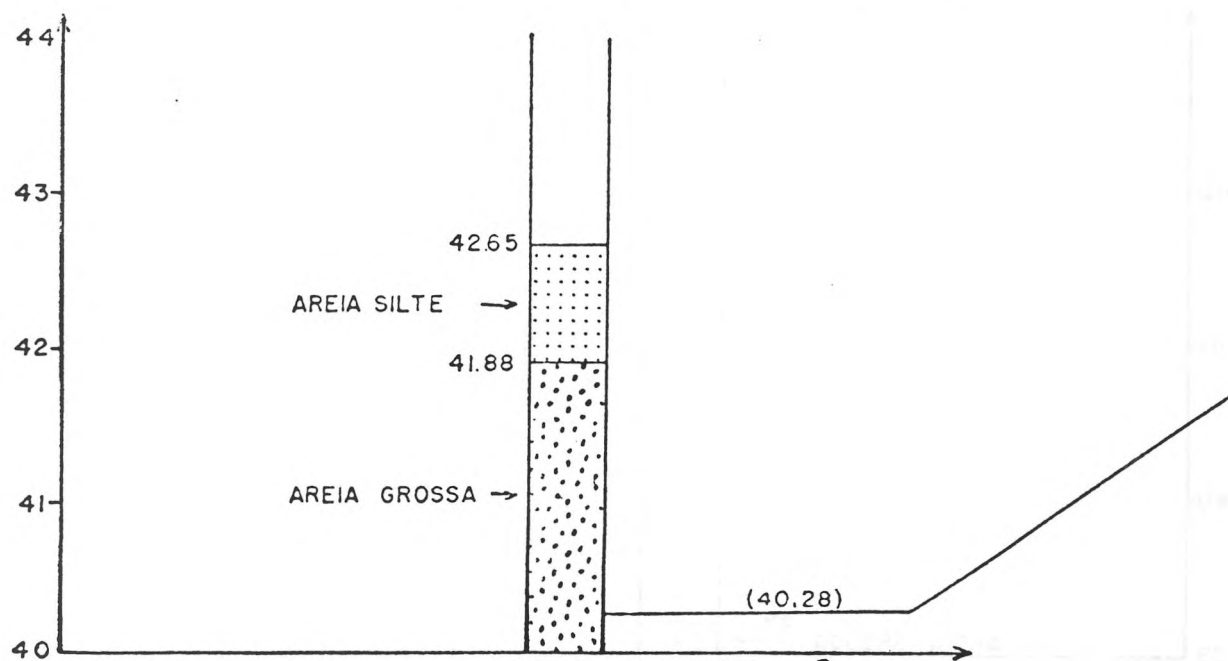


Fig. 6

CANAL ADUTOR DE MORADA NOVA

MEGASONDAGEM (PERFIL TRANSVERSAL 70)

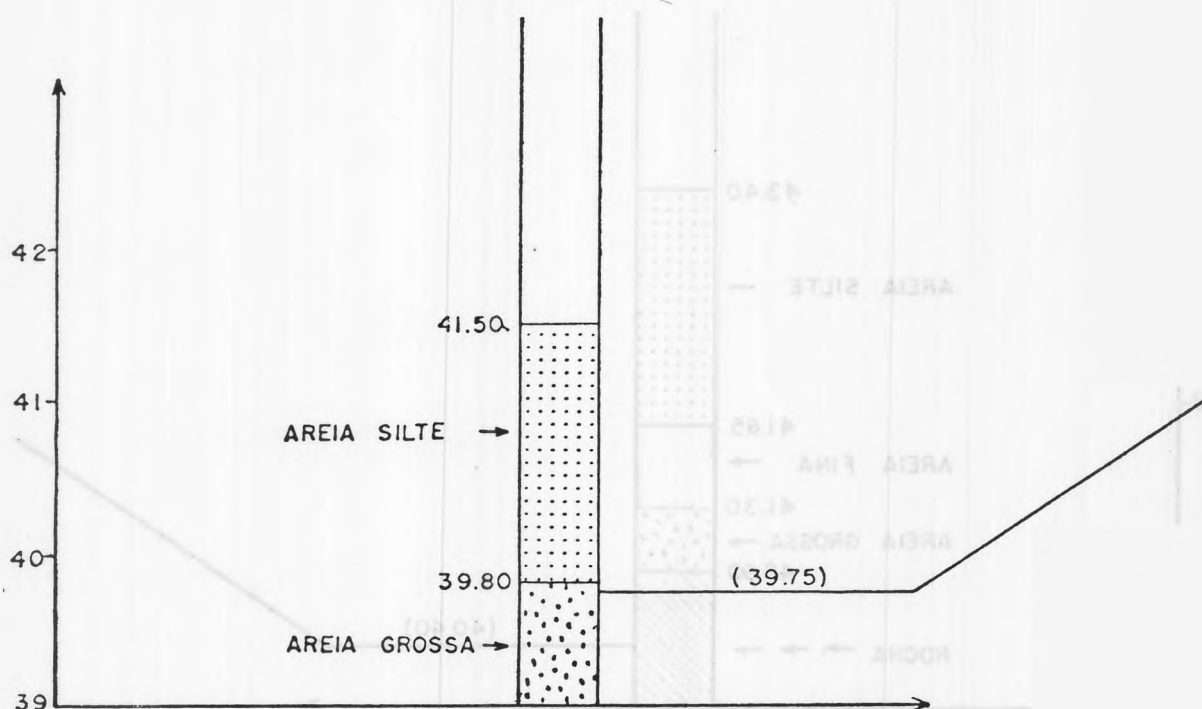


Fig. 7

MEGASONDAGEM (PERFIL TRANSVERSAL 82)

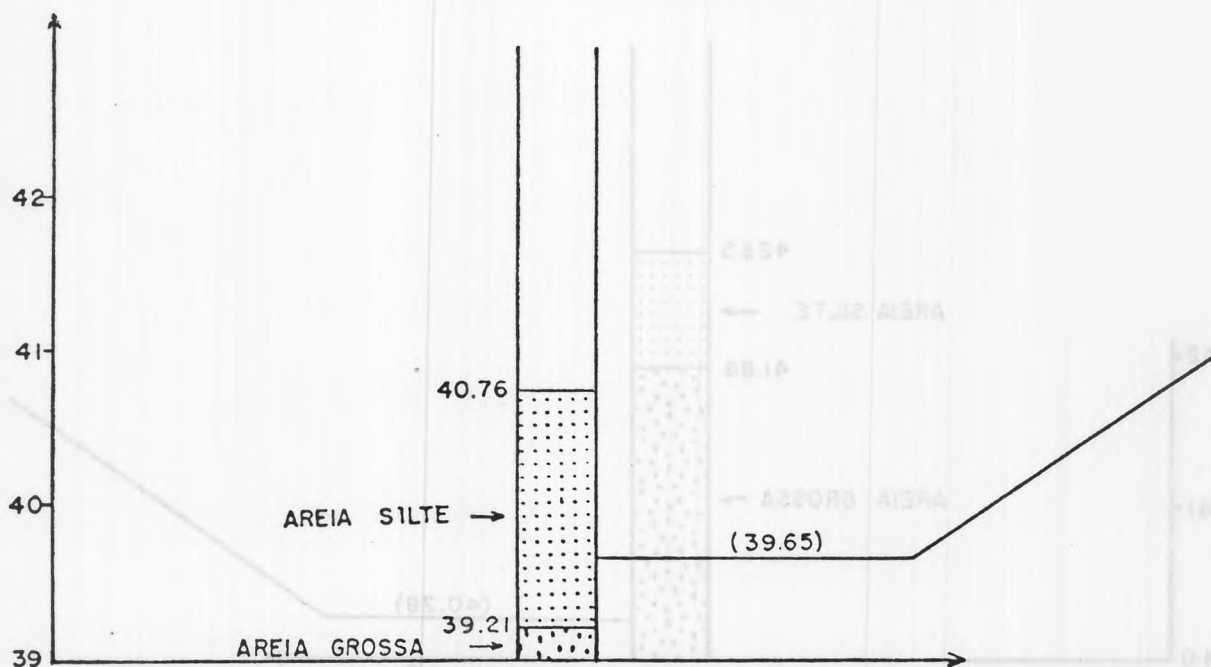


Fig. 8

CANAL ADUTOR DE MORADA NOVA

SONDAGEM (PERFIL TRANSVERSAL 119)

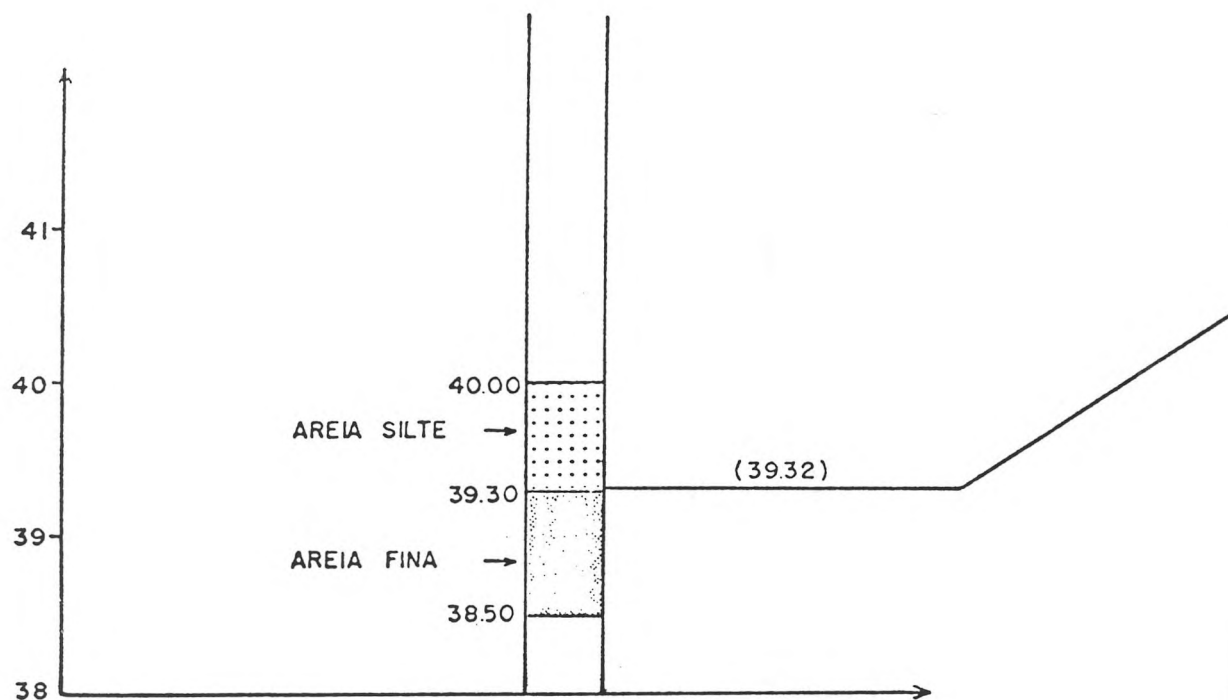
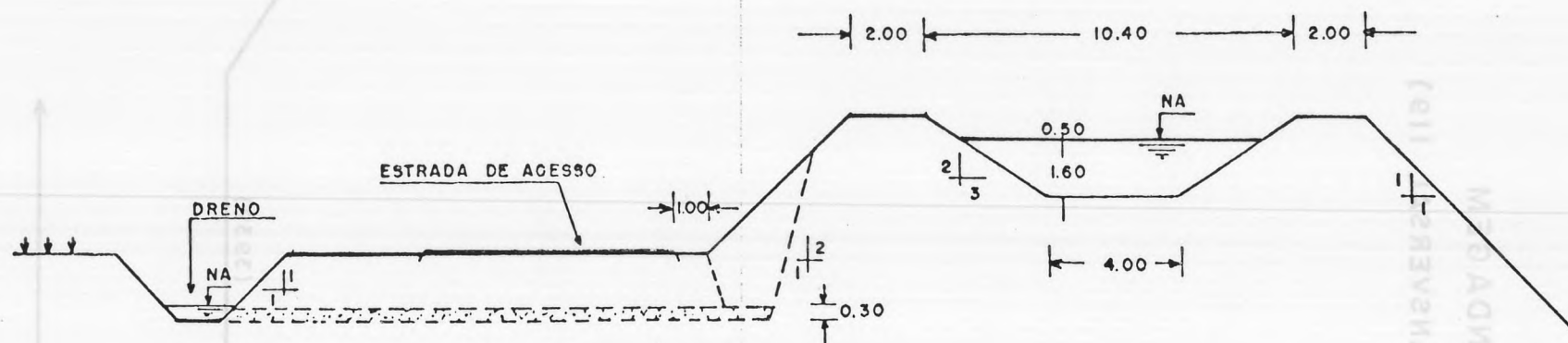
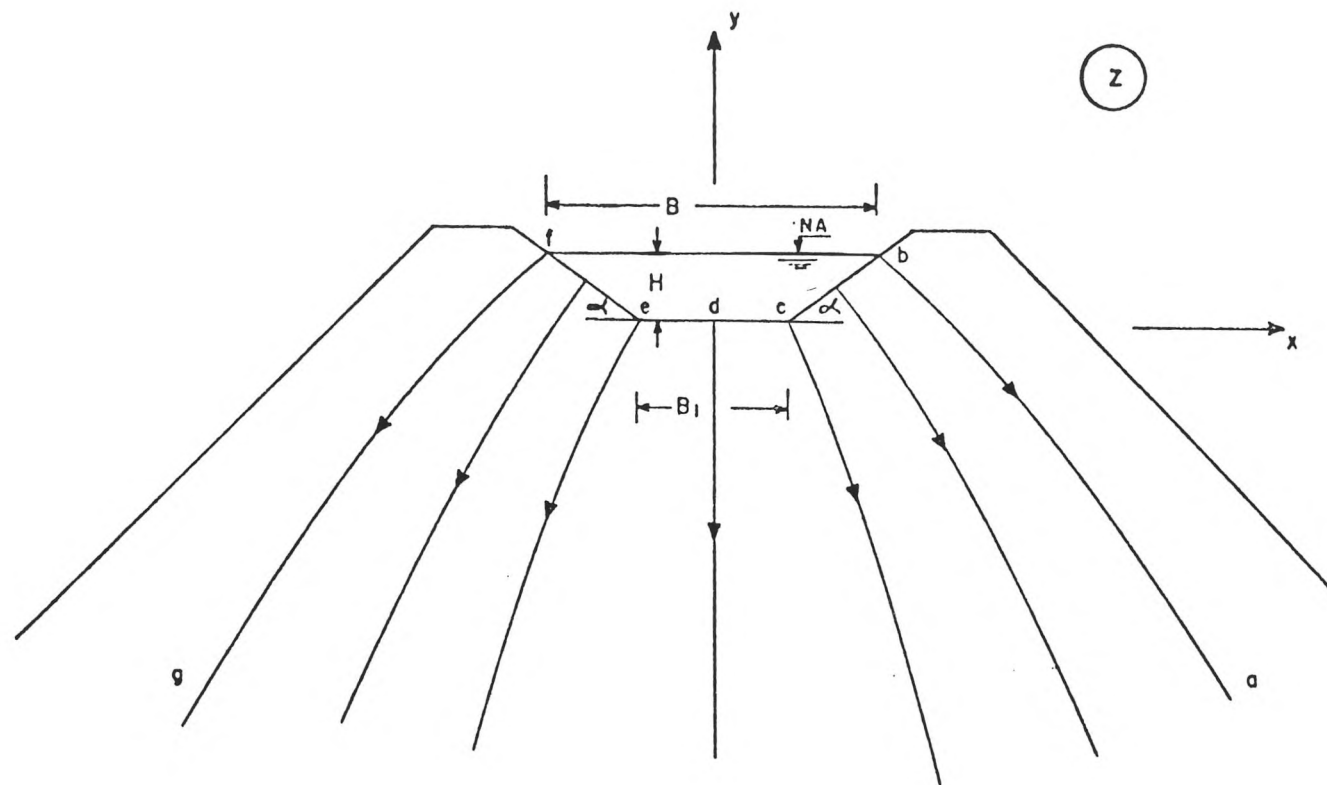


Fig. 9



CANAL ADUTOR
DO
SISTEMA MORADA NOVA

Fig. 10



- Fig 11 -

$$\overline{bc} \quad \begin{cases} \varphi = c_{te} \\ \gamma = \tan \alpha \left(x - \frac{B_1}{2} \right) \end{cases} \quad (1-1)$$

b) Para o limite dc, tem-se as equações:

$$\overline{dc} \quad \begin{cases} \gamma = 0 \\ \varphi = c_{te} \end{cases} \quad (1-2)$$

c) limite ba - ao longo da superfície livre, tem-se:

$$\varphi + ky = c_{te}. \quad (1-3)$$

A velocidade potencial num ponto qualquer da superfície livre S representada pela linha ba, será:

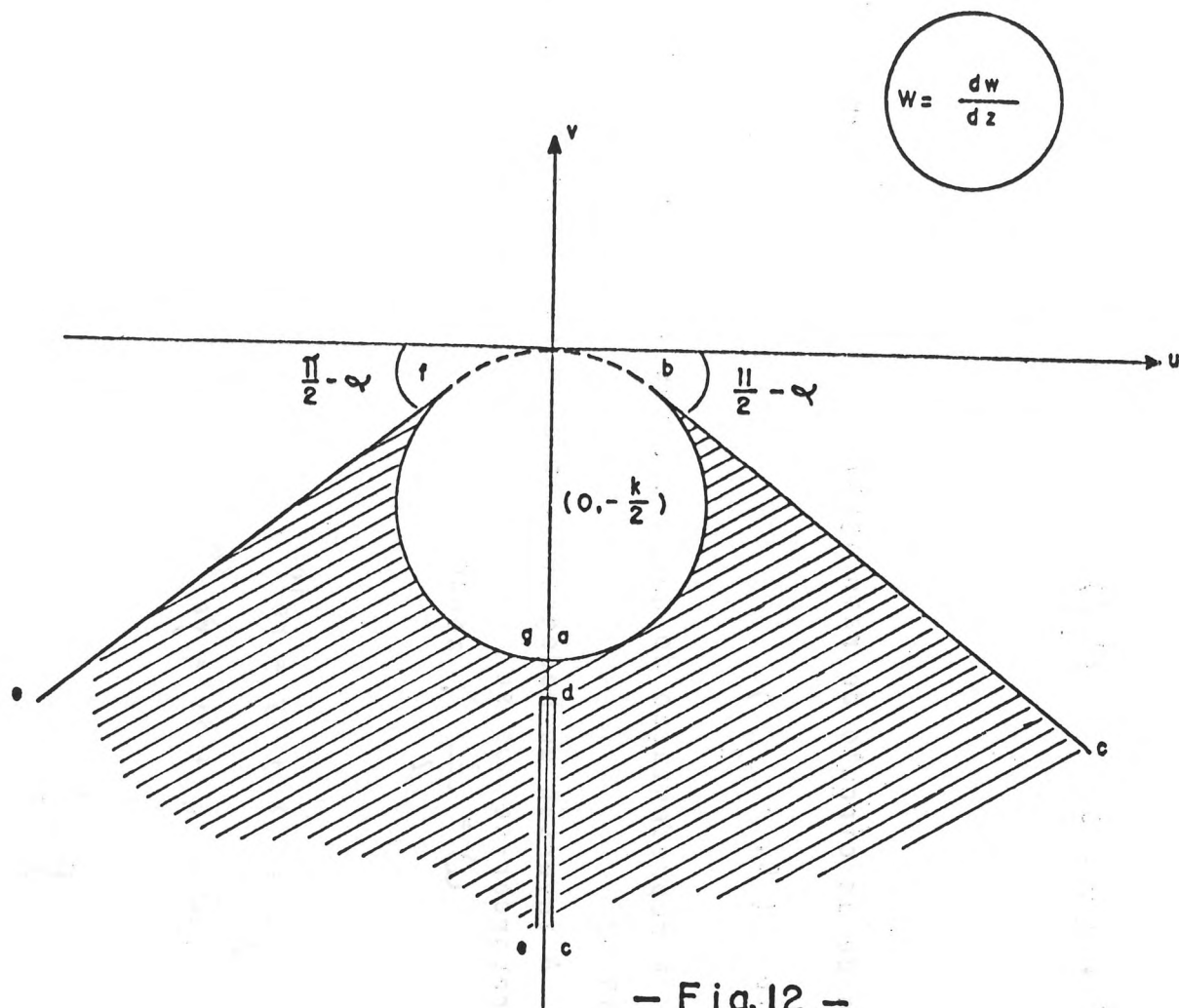
$$\frac{\partial \varphi}{\partial s} + k \frac{dy}{ds} = 0 \quad (1-4)$$

Multiplicando-se (1 - 4) por $\frac{\partial \varphi}{\partial s}$ tem-se:

$$\left(\frac{\partial \varphi}{\partial s} \right)^2 + k \frac{\partial \varphi}{\partial s} \cdot \frac{dy}{ds} = 0 \quad (1-5)$$

A velocidade $\frac{\partial \varphi}{\partial s}$, tangente à curva ab, está correlacionada com suas projeções no plano W, pela expressão:

$$\left(\frac{\partial \varphi}{\partial s} \right)^2 = \omega^2 = u^2 + v^2 \quad (1-6)$$



- Fig.12 -

Tem-se ainda que:

$$\frac{\partial \phi}{\partial s} \cdot \frac{dy}{ds} = w \operatorname{sen} \alpha = V$$

Donde conclui-se que a equação (1-6) pode ser escrita:

$$u^2 + v^2 + kv = 0 \quad (1-7)$$

equação de um círculo de raio igual a $\frac{k}{2}$ e de centro no ponto $(0, -\frac{k}{2})$.

A representação do Hodógrafo das velocidades é então a da fig.12

A inversão do hodógrafo é facilmente determinado, bastando recordar-se que se

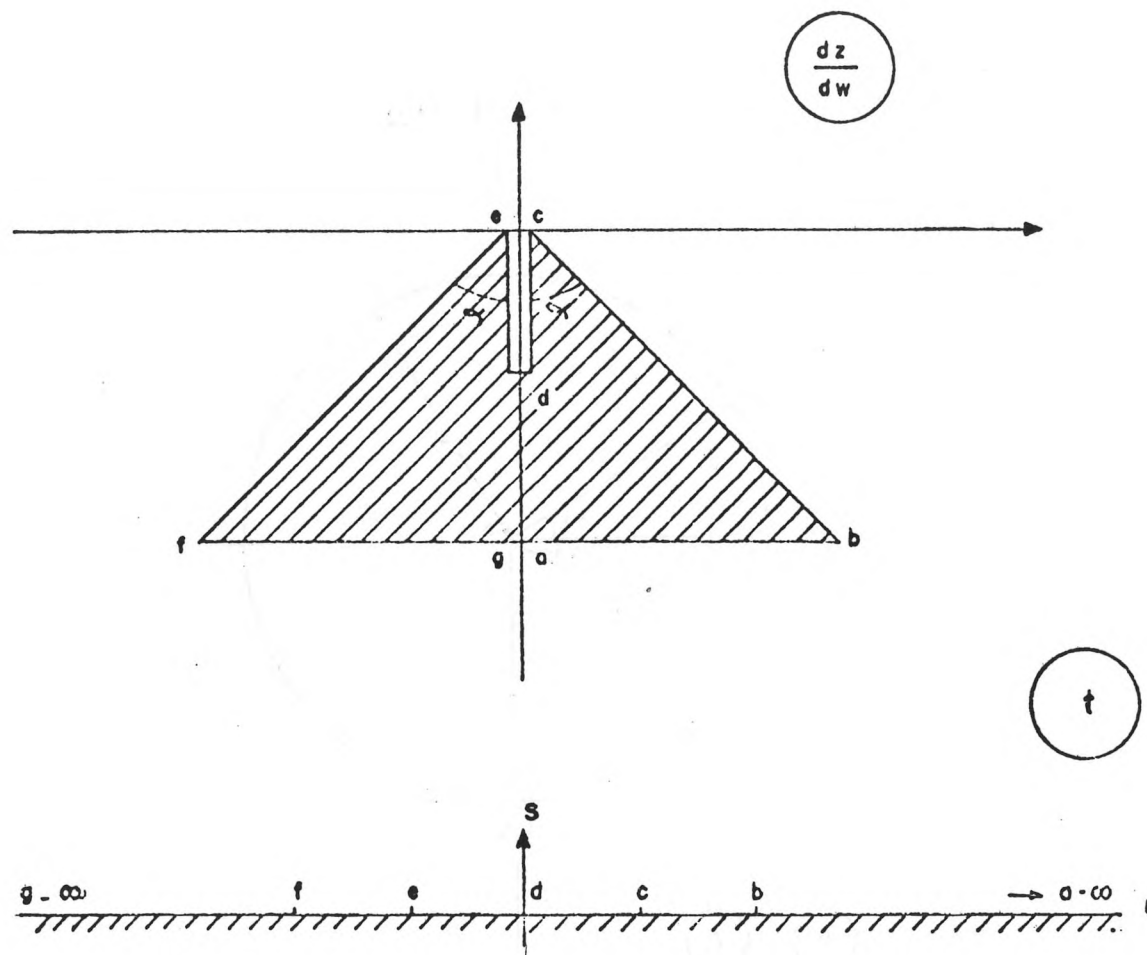
$$\omega = \frac{1}{Z}, \text{ aonde}$$

$$\begin{cases} Z = x + iy = re^{i\theta} \\ \omega = u + iv = \rho e^{i\alpha}, \end{cases} \text{ tem-se:}$$

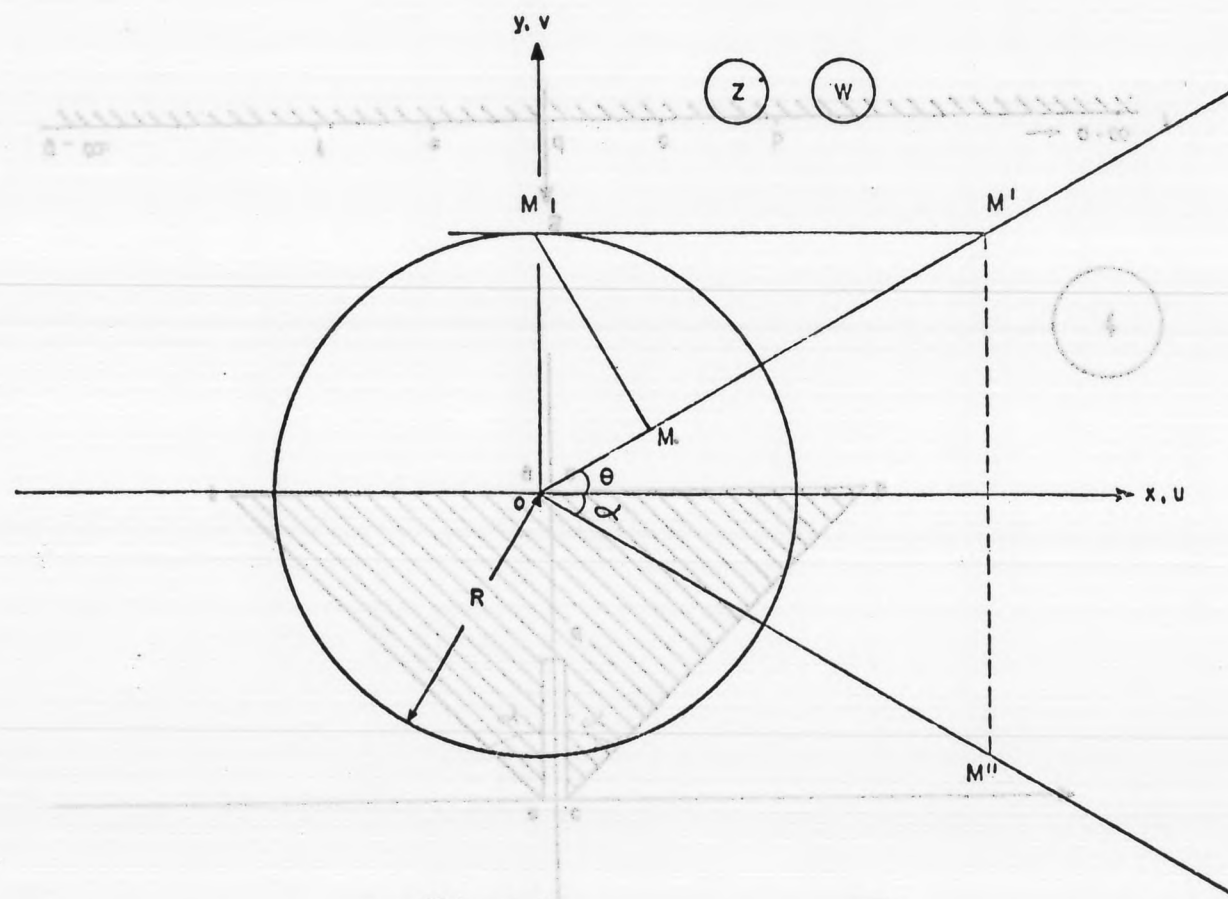
$$\rho = \frac{1}{r}$$

$$\theta = -\alpha \quad (1-8)$$

Suponha-se a função Z num domínio definido por um círculo de raio R . (fig. 14)



- Fig.13 -



- Fig.14 -

Seja um ponto $M(Z)$ de distância a origem do círculo, igual OM .

Existirá um ponto $M'(\omega)$, tal que:

$$\overline{OM} \cdot \overline{OM'} = R^2$$

o qual satisfará às condições de inversão de (1-8).

Destarte, as coordenadas do ponto $M(\underline{x}, \underline{y})$ estão correlacionadas com as do ponto $M'(\underline{u}, \underline{v})$, pelas expressões:

$$\begin{cases} u = \frac{xR^2}{x^2 + y^2} \\ v = \frac{yR^2}{x^2 + y^2} \end{cases} \quad (1-9).$$

De (1-9), tem-se

$$\omega = u + iv = \frac{R^2(x + iy)}{x^2 + y^2} = \frac{R^2}{x - iy} \quad (1-10).$$

Donde:

$$\omega = \frac{R^2}{\bar{z}},$$

Fazendo-se $R = 1$, tem-se

$$\omega = \frac{1}{\bar{z}} \quad (1-11)$$

$$f = -1$$

$$b = +1$$

$$a = g = \infty$$

Supõe-se, pois que o polígono da figura 11 possui a e g se unido num ponto do domínio, situado no infinito.

A equação (1-12), para o polígono estudado se transformará no plano t, em:

$$\frac{dz}{d\omega} = M \int_0^t \frac{dt}{(t+1)^{1-\frac{\theta}{\pi}} (t+\beta)^{1-\frac{\alpha}{\pi}} (t-0)^{1-\frac{2\gamma}{\pi}} (t-\beta)^{1-\frac{\alpha}{\pi}} (t-1)^{1-\frac{\theta}{\pi}}} \quad (1-13)$$

Observe-se que $\theta = \frac{\pi - 2\alpha}{2}$

Então : $1 - \frac{\theta}{\pi} = \frac{1}{2} + \frac{\alpha}{\pi} = \frac{1}{2} + n \quad (1-14)$

A equação (1-13), ficará :

$$\frac{dz}{d\omega} = M \int_0^t \frac{tdt}{(1-t^2)^{\frac{1}{2} + n} (\beta^2 - t^2)^{1-n}} + N \quad (1-15)$$

Faça-se:

$$\frac{dz}{d\omega} = M \bar{\Phi}(t) + N \quad (1-16)$$

No caso estudado (fig. 11), por questão de simetria, pode-se tomar a metade do canal, b-c-d.

A integral (1-15), definida entre estes limites, no plano t, será:

$$\frac{dz}{d\omega} = M \left[\int_0^\beta \frac{d(I_1)}{dt} + \int_\beta^1 \frac{d(I_2)}{dt} \right] + N \quad (1-17)$$

No caso particular define-se:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_1 = \bar{I}(\beta) = \int_0^{\beta} \frac{t dt}{(1-t^2)^{\frac{1}{2} + n} (\beta^2 - t^2)^{1-n}} \\ I_2 = \int_{\beta}^1 \frac{t dt}{(1-t^2)^{\frac{1}{2} + n} (t^2 - \beta^2)^{1-n}} \end{array} \right. \quad (1-18)$$

Observe-se que em se tomando

$$\frac{t^2 - \beta^2}{1 - \beta^2} = x, \text{ tem-se:}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} t^2 - \beta^2 = x(1 - \beta^2) \\ 1 - t^2 = \frac{(x - 1)(1 - \beta^2)}{x(1 - \beta^2) + \beta^2} \\ t = \sqrt{x(1 - \beta^2) + \beta^2} \\ dt = \frac{1}{2} \frac{(1 - \beta^2)}{\sqrt{x(1 - \beta^2) + \beta^2}} \end{array} \right.$$

Substituindo-se estes valores em I_2 (1-18),

tem-se:

$$I_2 = \frac{1}{2(1 - \beta^2)^{\frac{1}{2} + n}} \int_0^1 x^{n-1} (1-x) dx \quad (1-20)$$

Sabe-se que as Funções Fatoriais de Euler, chamadas Funções Gama e Beta, são do tipo:

$$\text{Gama} \left\{ \begin{array}{l} \Gamma(a) = \int_0^{\infty} x^{a-1} e^{-x} dx \\ \Gamma(a+1) = \int_0^{\infty} x^a e^{-x} dx \end{array} \right. \quad (1-21)$$

$$\text{Beta} \quad \left\{ B(a,b) = \int_0^1 x^{a-1} (1-x)^{b-1} dx \right. \quad (1-22).$$

Em se fazendo $b = \frac{1}{2} - n$, a equação (1-20) tornar-se-á:

$$I_2 = \frac{1}{2(1-\beta^2)^{\frac{1}{2}}} B\left(n, \frac{1}{2} - n\right) \quad (1-23).$$

Suponha-se $\frac{1}{(1-\beta^2)^{\frac{1}{2}}} = C$, então:

$$I_2 = \frac{1}{2C} \cdot B\left(n; \frac{1}{2} - n\right) \quad (1-23').$$

As funções Gama estão relacionadas com as funções Beta, pelas expressões:

$$B(a,b) = \frac{\Gamma(a) \Gamma(b)}{\Gamma(a+b)} \quad (1-24)$$

Sabe-se ainda que:

$$B(a,b) = \frac{b-1}{a} \quad (1-25)$$

Tem-se que:

$$\begin{aligned} \Gamma(1) &= \int_0^{\infty} e^{-x} dx = 1 \\ \Gamma(2) &= 1 \quad \Gamma(1) = 1 \quad ! \\ \Gamma(3) &= 2 \Gamma(2) = 2 \quad ! \end{aligned} \quad (1-26)$$

$$\Gamma(n) = (n-1) \Gamma(n-1) = (n-1) !$$

Outra importante relação, para a solução do problema em pauta, deduz-se da Integral de Poisson :

$$E = \int_0^{\infty} e^{-x^2} dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \quad (1-27)$$

Substituindo-se em (1-27), x^2 por t , tem-se :

$$dx = \frac{1}{2} t^{-1/2} dt \quad \text{Então:}$$

$$2 E = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{-1/2} dt = \Gamma\left(\frac{1}{2}\right) = \sqrt{\pi} \quad (1-28)$$

A expressão de I_2 em (1-23'), pode ser escrita:

$$I_2 = \frac{1}{2C} B\left(n, \frac{1}{2} - n\right) = \frac{\Gamma(n) \Gamma(1/2 - n)}{\Gamma(1/2)} \times \frac{1}{2C} \quad (1-29)$$

Então, levando-se em consideração (1-28), tem-se:

$$I_2 = \frac{\Gamma(n) \Gamma(1/2 - n)}{2 C \sqrt{\pi}} \quad (1-30).$$

Cálculo da Constante N

No plano t , para o ponto c do canal, tem-se $t = \beta$ e a velocidade no plano $\frac{dz}{d\omega}$ igual a zero. Portanto:

$$\frac{dz}{d\omega} = M \Phi(\beta) + N = 0$$

$$M \Phi(\beta) = -N \quad (1-31).$$

O valor de N , será pois:

$$N = -M I_1 \quad (1-32)$$

Tem-se pois,

$$\frac{dZ}{d\omega} = M \left[\bar{\Phi}(t) - I_1 \right] \quad (1-33).$$

Cálculo de valor de M

Ponto b

No plano Hodógrafo, $-\frac{d\omega}{dz}$, tem-se:

$$\begin{cases} U = \omega \cos \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) = + \omega \sin \alpha \\ V = -\omega \sin \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) = \omega \cos \alpha \end{cases} \quad (1-34).$$

Da equação (1-4) tem-se:

$$\begin{cases} u = k \sin \alpha \cos \alpha \\ v = -k \cos^2 \alpha \end{cases} \quad (1-35)$$

$$\frac{d\omega}{dz} = u - iv = k i e^{-i\pi n} \cos n\pi \quad (1-36).$$

No ponto b, tem-se $t = 1$.

Assim, aplicando (1-33) e (1-36) tem-se

$$\frac{dz}{d\omega} = \frac{1}{k i \cos n\pi} e^{i\pi n} = M \left[\bar{\Phi}(t) - I_1 \right] \quad (1-37)$$

ou;

$$\frac{e^{i\pi n}}{k i} = M \left[\bar{\Phi}(t) - I_1 \right] \cos n\pi \quad (1-37).$$

Observe-se que:

$$(\beta^2 - t^2)^{1-n} = - e^{-i\pi n} (t^2 - \beta^2)^{1-n} \quad (1-38).$$

Daí, tem-se, (1 - 18):

$$I_2 = - e^{i\pi n} \int_{\beta}^x \frac{t dt}{(1-t^2)^{\frac{1}{2}+n} (t^2 - \beta^2)^{1-n}} \quad (1-39)$$

De (1-37'), tem-se:

$$\frac{e^{i\pi n}}{i k} = M \left[I_1 e^{i\pi n} \int_{\beta}^x \frac{t dt}{(1-t^2)^{\frac{1}{2}+n} (t^2 - \beta^2)^{1-n}} - I_1 \right] \cos n\pi \quad (1-40).$$

Então:

$$M = \frac{i}{k \cos n\pi} I_2^{-1} \quad (1-41)$$

A expressão (1-37), pode ser escrita:

$$\frac{dz}{d\omega} = \frac{i}{k \cos n\pi} I_2^{-1} [\Phi(t) - I_1] \quad (1-42).$$

A representação conforme do plano Z, para um plano ω das velocidades definidas pelo potencial

$$\omega = \varphi + i\psi, \quad \text{é deduzido facilmente.}$$

Basta observar-se que conforme se mostrou, o potencial ao longo do perímetro molhado é $\varphi = cte$.

Suponha-se, para o problema em pauta $\varphi = 0$.

Ao longo da superfície livre, $\overline{b a}$, tem-se

$$\psi = cte = \frac{Q}{2}$$

Assim, no plano

$w = \varphi + i\psi$, obtem-se a fig. 15.

De uma transformação do plano

w ao plano t , tem-se:

$$w = -iM \int_0^t \frac{dt}{\sqrt{1-t^2}} = -iM \text{sen}^{-1} t \quad (1-43).$$

Para o ponto $\underline{b}$, tem-se:

$$\psi = i \frac{q}{2} \left[1 - \frac{n-1}{n+1} \left(\frac{S_2 - S_1}{S_2 + S_1} \right)^{n+1/2} \right]$$

$$t = 1$$

A expressão (1-43) fica, então:

$$\frac{iq}{2} = -iM \text{sen}^{-1} t \quad (1)$$

$$M = \frac{-q}{\pi} \quad (1-44)$$

E, (1-43) fica

$$w = \frac{iq}{\pi} \text{sen}^{-1} t \quad (1-45)$$

A função $\frac{dz}{dt}$, relacionada aos planos Z e t , ficará

$$\frac{dz}{dt} = \frac{\partial Z}{\partial w} \frac{dw}{dt} = - \frac{q \left[\Phi(t) - I_1 \right]}{k \pi I_2 \cos n\pi \sqrt{1-t^2}} \quad (1-46)$$

Integrando-se em relação a t , tem-se:

$$Z = - \frac{q}{k \pi I_2 \cos n\pi} \left[\int_0^t \frac{\Phi(t) dt}{\sqrt{1-t^2}} - I_1 \sin^{-1} t \right] \quad (1-47)$$

A integral entre parêntesis, em (1-47) pode ser encontrada, empregando-se a integração por partes:

Seja, pois:

$$Z = - \frac{Q}{k \pi I_2 \cos n\pi} \left[\int_0^t \frac{\Phi(t) dt}{\sqrt{1-t^2}} - I_1 \sin^{-1} t \right] \quad (1-47)$$

Fazendo-se:

$$\begin{cases} u = \Phi(t) \\ du = \frac{t dt}{(1-t^2)^{\frac{1}{2}+n} (\beta^2-t^2)^{1-n}} \end{cases}$$

$$\begin{cases} dv = \frac{dt}{\sqrt{1-t^2}} \\ v = \sin^{-1} t \end{cases}$$

tem-se, então:

$$\int_0^t \frac{\Phi(t) dt}{\sqrt{1-t^2}} = \Phi(t) \sin^{-1} t - \int_0^t \frac{t \sin^{-1} t dt}{(1-t^2)^{\frac{1}{2}+n} (\beta^2-t^2)^{1-n}}$$

Aplicando-se este valor à expressão (1-47), conclui-se:

$$Z = - \frac{Q}{k \pi I_2 \cos n\pi} \left\{ \Phi(t) \sin^{-1} t - \int_0^t \frac{t \sin^{-1} t dt}{(1-t^2)^{\frac{1}{2}+n} (\beta^2-t^2)^{1-n}} - I_1 \sin^{-1} t \right\}$$

Ocorre que:

$$\Phi(t) = \int_0^t \frac{t dt}{(1-t^2)^{\frac{1}{2}+n} (\beta^2-t^2)^{1-n}}$$

Aplicando-se este valor à equação (1-48),

tem-se:

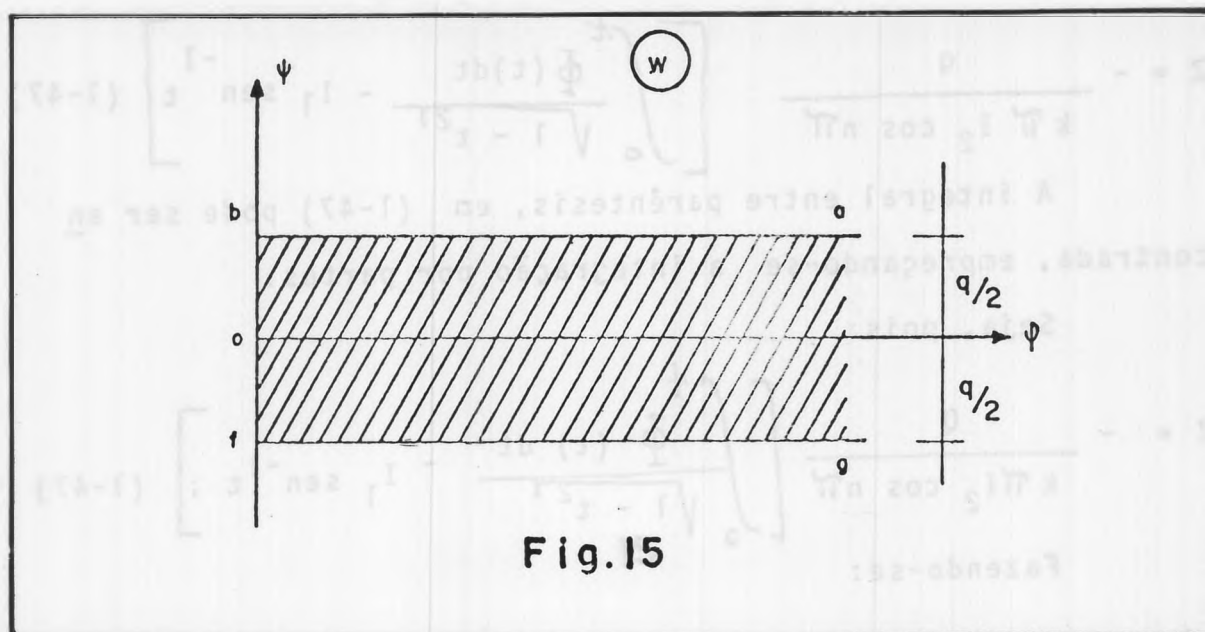


Fig.15

$$Z = - \frac{Q}{k \pi I_2 \cos \pi n} \left\{ \sin^{-1} t \left[\int_0^t \frac{t dt}{(1-t^2)^{\frac{1}{2}+n} (\beta^2-t^2)^{1-n}} \right] - \int_0^t \frac{t dt \sin^{-1} t}{(1-t^2)^{\frac{1}{2}+n} (\beta^2-t^2)^{1-n}} \right\} \quad (1-49)$$

Far-se-ã hipóteses, para os diversos pontos do canal:

1º) - Trecho dc :

$$0 < t < \beta$$

Neste caso, a expressão de Z é aquela dada em (1-49):

$$Z = - \frac{Q}{k \pi I_2 \cos \pi n} \left\{ \sin^{-1} t \left[\int_0^t \frac{t dt}{(1-t^2)^{\frac{1}{2}+n} (\beta^2-t^2)^{1-n}} \right] - \int_0^t \frac{t \sin^{-1} t dt}{(1-t^2)^{\frac{1}{2}+n} (\beta^2-t^2)^{1-n}} \right\}$$

2º - Ponto C : Neste ponto tem-se:

$$\begin{cases} t = \beta \\ z = \frac{B_1}{2} \end{cases} \quad e \quad \bar{I}_1 = \int_0^\beta \frac{t dt}{(1-t^2)^{\frac{1}{2}+n} (\beta^2-t^2)^{1-n}} \quad (1-50)$$

A expressão (1-49) ficará:

$$\frac{B_1}{2} = \frac{Q}{k\pi \cos n\pi} I_2^{-1} \int_0^\beta \frac{t \operatorname{sen}^{-1} t \, dt}{(1-t^2)^{\frac{1}{2}+n} (\beta^2-t^2)^{1-n}} \quad (1-51)$$

39)- Trecho bc . Para o trecho bc , correspondendo ao lado do canal, tem-se:

$$\begin{cases} \beta < t < 1 \\ z = \frac{B_1}{2} + z_{bc} \end{cases}$$

Observando-se (1-38) e (1-50), e que $z_{\beta 1} = z_{01} - z_{0\beta}$ (1-49) :

$$z = \frac{B_1}{2} + \frac{Q}{k\pi I_2 \cos n\pi} e^{i\pi n} \left[\operatorname{sen}^{-1} t \int_\beta^t \frac{t \, dt}{(1-t^2)^{\frac{1}{2}+n} (t^2-\beta^2)^{1-n}} - \int_\beta^t \frac{t \operatorname{sen}^{-1} t \, dt}{(1-t^2)^{\frac{1}{2}+n} (t^2-\beta^2)^{1-n}} \right] \quad (1-52)$$

40 - Ponto b

$$\begin{cases} t = 1 \\ z = \frac{B}{2} + iH \quad \operatorname{tg} n\pi = \frac{H}{\frac{B - B_1}{2}} \end{cases}$$

Observe-se que neste ponto,

$$\text{tem-se } n = \frac{\infty}{\pi} = 1$$

Então, $i\pi n$

$$\frac{e}{\cos n\pi} = 1 \quad (1-53)$$

A projeção de b sobre o eixo dos reais, será:

$$\frac{B}{2} = \frac{B_1}{2} + \frac{B - B_1}{2}$$

O valor do primeiro termo já está expresso em (1-51)

Considerando-se (1-53), chega-se a:

$$\frac{B - B_1}{2} = \frac{Q}{k \pi I_2} \left[\frac{\pi}{2} \int_{\beta}^1 \frac{t dt}{(1-t^2)^{\frac{1}{2}+n} (t^2 - \beta^2)^{1-n}} - \int_{\beta}^1 \frac{t \operatorname{sen}^{-1} t dt}{(1-t^2)^{\frac{1}{2}+n} (t^2 - \beta^2)^{1-n}} \right]$$

valor a que poderia se chegar a partir de 1-52, para os limites do caso presente.

Substituindo-se, na expressão (1-53), a primeira integral por seu valor dado em (1-18), chega-se a seguinte expressão:

$$\frac{B - B_1}{2} = \frac{Q}{k \pi I_2} \left[\frac{\pi}{2} I_2 - \int_{\beta}^1 \frac{t \operatorname{sen}^{-1} t dt}{(1-t^2)^{\frac{1}{2}+n} (t^2 - \beta^2)^{1-n}} \right] \quad (1-54)$$

O valor de H, será então:

$$H = \frac{Q}{k I_2} \operatorname{tg} n \pi \left[\frac{\pi}{2} I_2 - \int_{\beta}^1 \frac{t \operatorname{sen}^{-1} t dt}{(1-t^2)^{\frac{1}{2}+n} (t^2 - \beta^2)^{1-n}} \right] \quad (1-55)$$

59) - Superfície livre $\frac{b-a}{b}$

$$1 < t < \infty$$

Observando-se que:

$$\begin{cases} (1-t^2)^{\frac{1}{2}+n} = i e^{i \pi n} (t^2-1)^{\frac{1}{2}+n} \\ \operatorname{sen}^{-1} t = \frac{\pi}{2} - i \cosh^{-1} t, \text{ para } t > 1, \text{ tem-se:} \end{cases} \quad (1-56)$$

$$Z = \frac{B}{2} + iH + \frac{Q}{k \pi I_2 \cos n \pi} \left[-\cosh^{-1} t \int_1^t \frac{t dt}{(t^2-1)^{\frac{1}{2}+n} (t^2-\beta^2)^{1-n}} - i I_2 e^{i \pi n} \cosh^{-1} t + \int_1^t \frac{t \cosh^{-1} t dt}{(t^2-1)^{\frac{1}{2}+n} (t^2-\beta^2)^{1-n}} \right] \quad (1-57)$$

Separando a parte real em (1-57), da imaginária, tem-se:

$$x - \frac{B}{2} = \frac{Q}{k \pi I_2 \cos n \pi} \left[- \int_{-1}^t \frac{t \cos h^{-1} t \, dt}{(t^2 - 1)^{\frac{1}{2}+n} (t^2 - \beta^2)^{1-n}} + I_2 \sin n \pi \cosh^{-1} t - \cos h^{-1} t \int_1^t \frac{t \, dt}{(t^2 - 1)^{\frac{1}{2}+n} (t^2 - \beta^2)^{1-n}} \right] \quad (1-58)$$

Cálculo da descarga freática no canal;

chamando-se:

$$\begin{cases} f_1(n, \beta) = \int_0^\beta \frac{t \sin^{-1} t \, dt}{(1-t^2)^{\frac{1}{2}+n} (t^2 - \beta^2)^{1-n}} \\ f_2(n, \beta) = \frac{t \sin^{-1} t \, dt}{(1-t^2)^{\frac{1}{2}+n} (t^2 - \beta^2)^{1-n}} \end{cases} \quad (1-59)$$

tem-se:

$$\begin{cases} B_1 = \frac{2Q}{k \pi I_2 \cos n \pi} f_1(n, \beta) \\ \frac{B - B_1}{2} = \frac{Q}{k \pi I_2} \left[\frac{\pi}{2} I_2 - f_2(n, \beta) \right] \end{cases} \quad (1-60)$$

Note-se que:

$$B = B_1 + \frac{Q}{k} \left[1 - \frac{2f_2(n, \beta)}{I_2} \right] \quad (1-61)$$

Então,

$$H = \frac{Q}{2K} \operatorname{tg} n \pi \left[1 - \frac{2f_2(n, \beta)}{\pi I_2} \right] \quad (1-62)$$

Tem-se, pois a descarga Q , em função de α, β, B, B_1, H .

O Cientista Soviético V. Verdenikov encontrou, através de ensaios, para Q, a expressão:

$$Q = k (B + AH) \quad (1-63)$$

em que

$$A = \frac{2}{\operatorname{tg} n \pi} \frac{f_2(n, \beta) - f_1(n, \beta) / \cos n \pi}{\frac{\pi}{2} I_2 - f_2(n, \beta)} \quad (1-64)$$

Polubarinova — Kochina, estabeleceu uma série de valores para A, segundo as características α B e H, do canal.

Com estes elementos calculados, conforme Quadro I, pode-se construir o ábaco da fig. 16.

QUADRO I

α	$\cotg \alpha$	A	B/H
45º	1	2,0	2,0
45º	1	3,0	5,0
45º	1	3,6	9,6
33º	1,5	2,4	4,6
33º	1,5	3,0	8,0
33º	1,5	3,6	15,0
27º	2,0	2,4	6,5
27º	2,0	3,2	14,0
27º	2,0	3,4	17,0
22º	2,5	2,2	7,0
22º	2,5	2,6	10,0
22º	2,5	3,2	17,0

Exemplo de aplicação:

Tem-se, conforme fig. 9,

$$m = \cotg = 1 = \cotg = \frac{3}{2} = \underline{1,5}$$

$$\frac{B}{H} = \frac{13}{1,5} = 8,67 = \frac{8,8}{1,6} = 5,5$$

Entrando-se no ábaco, da fig. 8,
encontra-se:

$$A = 2,61$$

$$Q = K B + A H \quad Q = 10^{-4} \quad 8,8 + 2,61 \times 1,5$$

$$K = 10^{-6} \text{ cm/s} = 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$Q = 10^{-4} (3,92 + 8,80) = 2,72 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$$

Esta descarga, para a semi-seção do canal, fornecerá para a descarga total, no canal, por quilômetro de comprimento.

$$Q_t = 2 \times 2,72 \times 10^{-4} = 5,44 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$$

$$Q_t = 0,544 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{km}$$

2.6 →

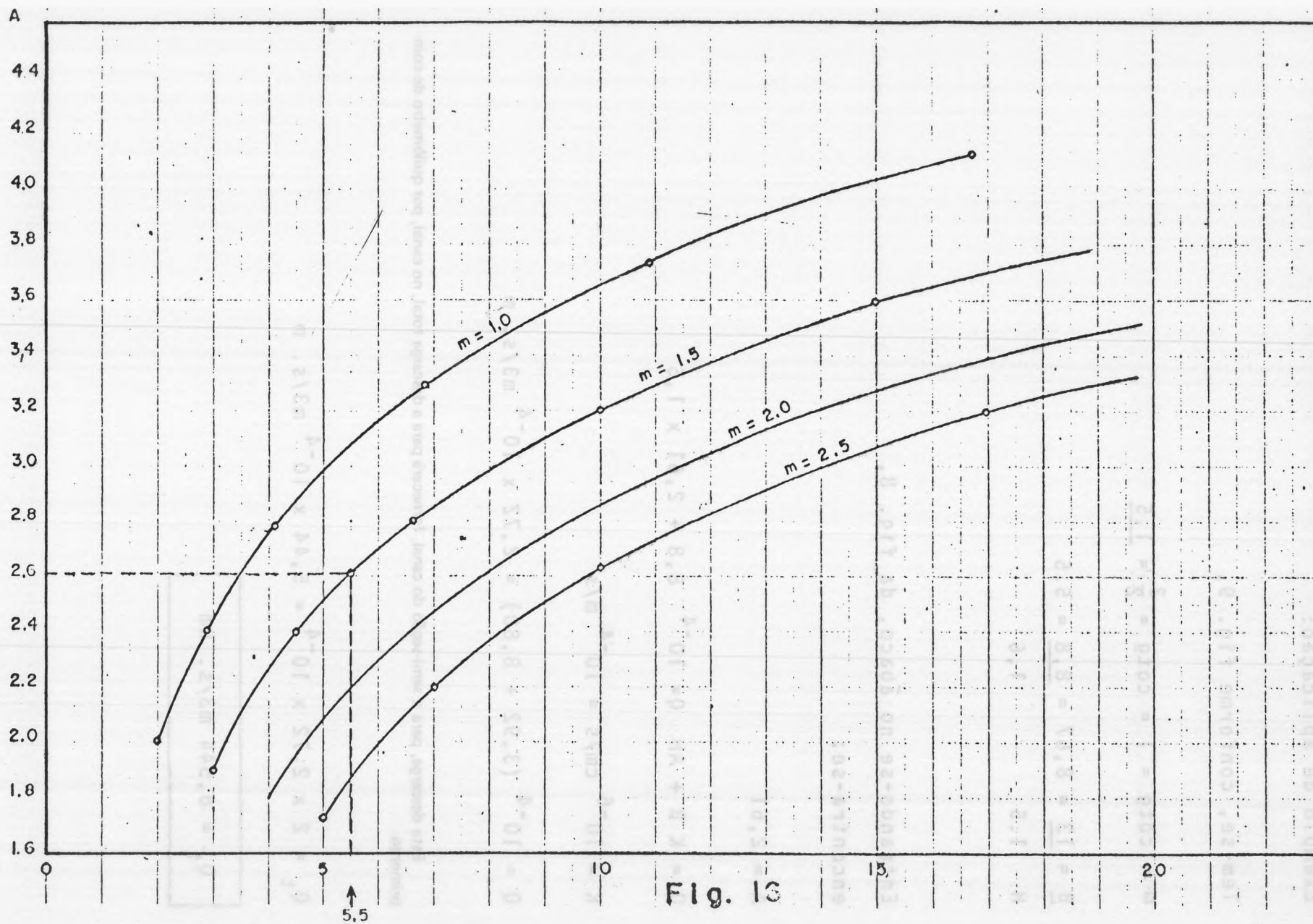


Fig. 13

4.30 – ANÁLISE EXPERIMENTAL:

Para se testar a teoria exposta, foram executadas diversas medições de descarga no canal adutor de MORA-DA NOVA.

Dessas medições foram escolhidas aquelas em que se conseguiu manter a variação de nível do canal a menor possível.

Vale salientar que, a grande dificuldade surgida foi manter estático o nível do canal, pois este nível é comandado por comportas automáticas, colocadas a jusante do trecho considerado.

Os dados conseguidos foram considerados consistentes e médios para toda a seção do canal.

CARACTERÍSTICA DA MEDIÇÃO:

As seções escolhidas para medição situam-se nas estacas 484 e 524 respectivamente, distando 800 m entre si.

Foram utilizados molinetes OTT, testados em medições anteriores.

A variação de nível do canal foi determinada mediante leitura em escalas graduadas cada meio centímetro.

As medições foram feitas no mesmo momento, nas duas seções consideradas.

MEDIÇÃO DE DESCARGA EFETUADA NO CANAL ADUTOR DE M. NOVA DADOS BÁSICOS:

$A_t = 3 \text{ min} = 180 \text{ s.}$

– Velocidade Média

ESTACA 484

$\bar{V} = 0,378 \text{ m/s}$

Altura água média

Altura água média

$h = 1,683 \text{ m}$

Variação de Altura no Intervalo $A_t = 3 \text{ min}$

$\Delta h = + 0,005 \text{ m}$

Para a altura $h = 1,683$, temos a área da seção transversal calculada, igual a:

$S = 10,98 \text{ m}^2$

Cálculo da Descarga:

$$Q = \bar{V} S = 0,378 \times 10,98 = 4,15 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo do volume escoado no intervalo de tempo

$$V_E = Q \times dT = 4,15 \times 180 = 747 \text{ m}^3$$

Est. 524:

Velocidade média: $\bar{v} = 0,289 \text{ m/s}$

Altura água média:

$h = 1,737 \text{ m}$

Variação de altura, no intervalo $dT = 3 \text{ min}$:

$dH = -0,02 \text{ m}$

Para a altura $h = 1,737$, tem-se a seção transversal:

$S = 11,47 \text{ m}^2$

Cálculo da descarga:

$$Q = \bar{v} \times S = 0,289 \times 11,47 = 3,31 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo do volume escoado no intervalo de tempo:

$$V_S = Q \times dT = 3,31 \times 180 = 596 \text{ m}^3$$

Cálculo da variação de volume no canal, entre as estacas

484 e 524:

$$\text{Est. 484: } dS = L \times dH = 9,05 \times 0,005 = 0,045 \text{ m}^2$$

$$\text{Est 524: } dS = L \times dH = 9,21 \times (-0,02) = -0,184 \text{ m}^2$$

$$\text{Variação de Volume: } dV = (0,045 + (-0,184)) \times 800 \times 2^{-1}$$

$$dV = 111 \text{ m}^3$$

Cálculo do Balanço Hídrico no canal:

1) – Intervalo de tempo $dT = 3 \text{ min}$:

$$VI = VE - dV - VS = 262 \text{ m}^3 / 800 \text{ m}$$

2) – Por metro de canal:

$$VI = 0,3275 \text{ m}^3/\text{m}$$

3) – Para o intervalo de tempo $dT = 1 \text{ seg}$:

$$VI = 1,8 \text{ m}^3/\text{seg. km}$$

SEGUNDA MEDIÇÃO

Est. 484 – $dt = 2 \text{ min}$

Velocidade média:

$$\bar{V} = 0,422 \text{ m/s}$$

Altura d'água (média)

$$h = 1,677 \text{ m}$$

Variação de altura d'água no intervalo $dt = 2 \text{ min}$

$$dh = 0,010 \text{ m}$$

Para a altura $h = 1,677$, tem-se a área de seção transversal igual a: $S = 10,93 \text{ m}^2$

$$\text{Cálculo da descarga: } Q = \bar{v} \cdot S = 0,422 \times 10,93 = 4,61 \text{ m}^3 / 3 \text{ seg.}$$

Cálculo do volume escoado no intervalo de tempo:

$$VE = Q \times dt = 4,61 \times 120 = 553 \text{ m}^3$$

Est. 524

$$\bar{v} = 0,0300 \text{ m/s}$$

Altura d'água:

$$h = 1,720 \text{ m}$$

Variação da altura d'água no intervalo $dt = 2 \text{ min}$

$$dh = 0$$

Para a altura $h = 1,72 \text{ m}$, tem-se uma seção transversal igual a: $S = 11,32 \text{ m}^2$

$$\text{Cálculo da descarga: } Q = 0,300 \times 11,32 = 3,40 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

Cálculo do volume escoado no intervalo de tempo:

$$VS = 3,40 \times 120 = 408 \text{ m}^3$$

Cálculo da variação de volume no canal, entre as estacas 484 e 524:

Est. 484:

$$DS = L \times dH = 9,031 \times 0,01 = 0,090 \text{ m}^2$$

Est. 524:

$$DS = L \times dH = L \times 0 = 0,000 \text{ m}^2$$

Variação de Volume:

$$DV = \frac{DS_1 + DS_2}{2} = 36,000 \text{ m}^3$$

Cálculo do Balanço Hídrico do Canal:

1) – No intervalo de tempo: $dt = 2 \text{ min.}$

$$VI = VE - dV - VS = 553 - 36 - 408 = 109 \text{ m}^3 / 800 \text{ min}$$

2) – Por metro de cal:

$$VI = 0,136 \text{ m}^3/\text{m}$$

3) – No intervalo de tempo $dt = 1 \text{ seg}$:

$$VI = 0,0011 \text{ m}^3/\text{seg. m}$$

$$VI = 1,100 \text{ m}^3 / \text{seg. km}$$

CONCLUSÃO:

Como era esperado, o canal adutor se apresenta com perdas por infiltração, superiores à analiticamente prevista.

Embora com um revestimento de concreto, este se apresentando com acentuada porosidade, permite a continuidade de uma descarga freática que se agrava nas juntas com características de maior permeabilidade.

A priori não se poderá concluir por definitivo, com base numa comparação entre os valores analítico e experimental encontrados. Este carece de novas medições, face às possíveis correntes de retornos, devidas às comportas de regulação existentes no canal, à jusante do trecho medido.

Deverão pois ser efetuadas novas baterias, medições feitas em trechos isentos de tais anomalias.

Só então, poder-se-á concluir por resultados finais.

É contudo incontestável que os resultados a que se chegou são animadores para que em se prosseguindo, permitam apontar as providências para se evitar perdas demasiadas na adução do precioso líquido primordial à nova realidade implantada pelo DNOCS naquele sertão agreste do Ceará.

AGRADECIMENTOS:

Desejamos agradecer ao Professor Luiz Estevão Mosca, da COMAI/E, pela revisão analítica, a Dra. Valéria Vasconcelos Fernandes Vieira, da DIBRA/B, pela colaboração emprestada, no sentido de por em ordem o nosso trabalho.

Agradecimentos ao desenhista Manoel Rodrigues de Araújo Neto, da DIPRO/C, pelos desenhos elaborados, aos datilógrafos Alzenir Dias Alves, da DIBRA/B, e Antonio Ferreira Passos, da DIBRA/M, pela dedicação e paciência emprestadas ao presente trabalho.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Jeppson, R. W. — "Seepage from channels Through Layered Porous Mediums" Water Res. Researchs —vol. 4, nº 2, abril, 1968.
- 2) Jeppson, R.W. — "Axisymmetric Seepage through Homogeneous or Nonhomogeneous Porous Mediums" — Water Res. Researchs — vol. 4, nº 6 Dez. 1968.
- 3) Jeppson, R. W. — "Seepage from ditches solution by finite differences" — ASCE — J. Hyd. Div. — Vol. 94 nº Hy1 Jan 1968.
- 4) Jeppson, R. W. — "Free surface flow through heterogeneous porous media" — ASCE — J. Hyd. Div. — Vol 95 Hy1 — Jan. 1969.
- 5) Hunt, B. W — "Seepage from Shallow open channel" — ASCE — J. Hyd. Div. Vol. 95 Hy1 — May 1972.
- 6) Charmonman, — "Coastal Parallel Canals With Intermediate Drains" — ASCE — Journal Hyd. Div. Vol. 93 nº Hy1 — Jan 1967.
- 7) Garg S.P. & Chawla, A.S. — "Seepage from trapezoidal Channels" — ASCE — Journal Hyd. Div. Vol 96 Hy6 June 1970.
- 8) Hunt, B. W. — "Flow rates in two dimensional, unsteady, confined groundwater flow" — ASCE — Journal Hyd. Div. — vol. 95 nº Hy2 — May 1969.
- 9) Resisenauer, A.E. "Methods for solving problems of Multidimensional, partially saturated flow in soils" — J. Geoph. Res. — Vol 68, nº 20 Oct. 1963.
- 10) Scheiddegger, A.E. — "General Theory of Dispersion in Porous Media" — Journal. Geoph. Res. Vol. 66, nº 10, Oct. 1961.
- 11) Bear J, Zaslavsky and Irmay" — Physical Principles of water Percolation and Seepage" — Unesco XXIX — 1968.
- 12) Charmonman, S. — "A numerical Method of solution of free surface Problems" — Journal of Geoph. Res. — Vol. 71 nº 16 Aug. 1966.

- 13) Kirkham D Powers W. L. Advanced Soil Physics" — Wiley Interscience, 1972.
- 14) De Wiest R. J. M. — "Geohydrology" — John Wiley & Sons 1967.
- 15) Myskis, A.d. — "Introductory Mathematics for Engineers" Mir Publications, 1972.
- 16) Polubarinova Kochiva P. Ya. — Theory of Ground Water Movement" — Princeton University — Press. 1962.
- 17) Churchill, R. V. — "Complex Variables and Applications" Mc Graw Hill Book Co — 1960.
- 18) Verruijt, A. — "Theory of Groundwater "Flow Macmillan, 1970.
- 19) Denisow N. Ya — "Engineering Geology and Hydrology" Nat Sci. Found. — Wash. 1957.
- 20) Sveshnikov, A. Tikhonov — "The theory, of functions of a Complex Variable" — Mir Publications — 1971.
- 21) Lavrentiev & Chabat, B. — "Méthods de La Theorie des fonctions d'un variable complexe" Edit. de Moscou, 1972.
- 22) Spiegel, M. R. — "Variáveis Complexas" — Col. Schaunm, 1972.
- 23) Scott, C.R. — "Soil Mechanics and Foundations" — Applicad Science, 1974.
- 24) Harr, M. E. — "Groundwater and Seepage" — Mc Graw Hill Co. 1972.
- 25) Jumikis, A, R. — "Mechanics of Soils" — Van Nostrand, Co. Inc. 1974.
- 26) Leliavsky, S. — "Irrigation and Hydraulics Design" — Vol. nº 1 Chapm & Hall Ltd 1955.
- 27) Boissezon, J & Hait, J.R. — "Cacul des debits dans les Reseaux d'Irrigation".
- 28) Zaoui, J. — "Les Ecoulements, en Milieux Poreux et L'Hypothese de Dupuit" — La Houille Blanche, nº 3, 1964.
- 29) Dagan, G. — "Second Order Linearized Theory of Free Surface Flow in Porous Media" — La Houille Blanche, nº 8, 1964.
- 30) Jacob, C. E. — "Flow of Ground Water" — Rouse — Eng. Hdv. — John Willey Sons Inc, 1950.
- 31) Maurer, W.A., — "Cálculo Diferencial e Integral" — Univ. Mackenzie, Dep. Publ. C. Acad. Horácio Lane.
- 32) Courant, R, — "Cálculo Diferencial e Integral", Edit. Globo, 1955.
- 33) Baron W. F. & Van Asbeck — "Asphalt Irrigation Linings" — 3th Congress on Irrigation and Drainage". San Francisco, 1957.
- 34) Flores, J. O. "Hidráulica Teórica" — E.N.E. 1953.
- 35) Schmid. P. and Luthin, J. — "The drainage of Sloping Lands". J. Geoph Res. Vol. 69 nº 8 ap. 1964.
- 36) Henderson, F. M. and Wooding R.A. "Overland Flow and Groundwater Flow from a Steady Rainfall of Finite Duration" — J. Geoph. Res. vol. 69, nº 8 Ap. 1964.
- 37) Bear J. & Dagan G. "Some Exact solutions of interface problems by Means of the Hodograph Method" — J. Geoph. Res. Vol. 69, nº 8 Ap. 1964.
- 38) Todd, D. K. — "Groundwater Hydrology" — Wiley & Sons, Inc. 1969.
- 39) Taylor, D.W. — "Fundamental of Soil Mechanics" — Wiley & Sons, N. York, 1968.
- 40) Frenkel, J. — "Kinetic Theory of Liquids" — Oxford, Claredon Press, N. York, Dover Publication, 1946.
- 41) Tolman, C.F. "Groundwater" — Mc. Graw Hill, London, 1937.
- 42) Taylor, R.L. and Brown. C.B. — Darcy Flow Solutions With Free Surface" — J. Hyd. Division, ASCE, Vol. 93, Hy7 — Mar. 1967.
- 43) Waring, G.A. — "Notas sobre as medições de descargas de rios" — IFOCS, Março de 1912.

- 44) Vieira, F.M. — “Medição de descarga dos rios” — M. Agric. Diret. de Meteorologia — 1931.
- 45) Houpeurt A. — “Elements de Mecanique des Fluides dans Les Milieux Poreux” — Edit. Technip, 1975.

REDES DE RIEGO CONSTRUÍDAS CON ACEQUIAS PREFABRICADAS DE SECCIÓN SEMICIRCULAR

Mariano Maraver Lopez Del Valle*

INTRODUCCIÓN

Trataremos de presentar, a lo largo de este trabajo, una de las soluciones adoptadas como más satisfactorias por el Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario (IRYDA), de España, en la redacción de proyectos técnicos y posterior ejecución de las obras de redes de acequias y canales, para conducción de agua y para riego, tras varios años de estudios, planificación y transformaciones de zonas regables, y después de haber ensayado y experimentado, en estas transformaciones, los diversos tipos y modelos de canales, acequias y obras complementarias para dichas redes, existentes en el regadio por gravedad.

Ciñendonos, en nuestro caso concreto, a la experiencia obtenida en las zonas ó perímetros de regadio de "El Páramo de León", "Canal del Esla" y "systema Porma", pertenecientes todos tres a la Cuenca Hidrográfica del río Duero, y ubicados en el ámbito de actuación de la Jefatura Provincial del IRYDA en León. El autor del presente trabajo, tras la redacción de diversos Proyectos de transformación, así como de haber dirigido la ejecución de las obras de las redes de riego, comunicaciones y drenaje, en diversas zonas, ocupando una superficie global superior a las diez mil hectáreas, quiere exponer, en la presente comunicación, el sistema de fabricación, características técnicas, calculos hidráulicos, cubicaciones y obras — tipo, de las redes de acequias que fueron consideradas, en último caso, como las de mejores características, las más idóneas, para estas obras de infraestructura de las zonas regables. Queremos dejar bien sentado que, antes de llegar conclusion, proyectamos y dirigimos obras en el regadio, con acequias de diversos tipos y secciones, tanto fabricadas "in situ", como prefabricadas en plantas industriales, desde las de sección rectangular a las parabólicas y trapezoidles, y si en la fecha actual recomendamos como las de mejores características las que presentaremos en este trabajo, ello es fruto no solamente de sus ventajas al proyectar, ni incluso en la ejecución de dichas obras, sino, más importante aún, tras la experiencia valiosa de su utilización durante vários años, su buena conservación, e incluso facilidad de reposición de tramos dañados. Todo ello unido, nos empuja a presentar en este Seminario este tipo de acequias y sus obras complementarias, como las de mejores condiciones y características para cualquier transformación de zona regable en que sea aconsejable el adoptar el sistema de riego por gravedad, sin entrar a discutir las posibles ventajas ó desventajas de dicho sistema sobre el de aspersión ó el localizado, tipo "goteo", ya que, en cada caso particular, las características de uno u otros sistemas, lo pueden hacer mucho más aconsejable.

Queremos, por lo tanto, mostrar en esta comunicación al III SENIR, las acequias prefabricadas de sección semicircular, sus características, dimensiones, sistema y control de fabricación, sus juntas de dilatación, calculos hidráulicos de las mismas, manejo, montaje y utilización, incluyendo en este último apartado todas las obras auxiliares que puedan presentarse en una red de regadio, del tipo de: cimientos y soportes, arquetas de cambio de dirección, arquetas y tubos para sifones, arquetas para saltos, aliviaderos y arquetas de cola de acequia, con el dimensionado y cubicaciones de todas estas diversas obras, según el tipo ó tamaño de la acequia en la que vayan construidas.

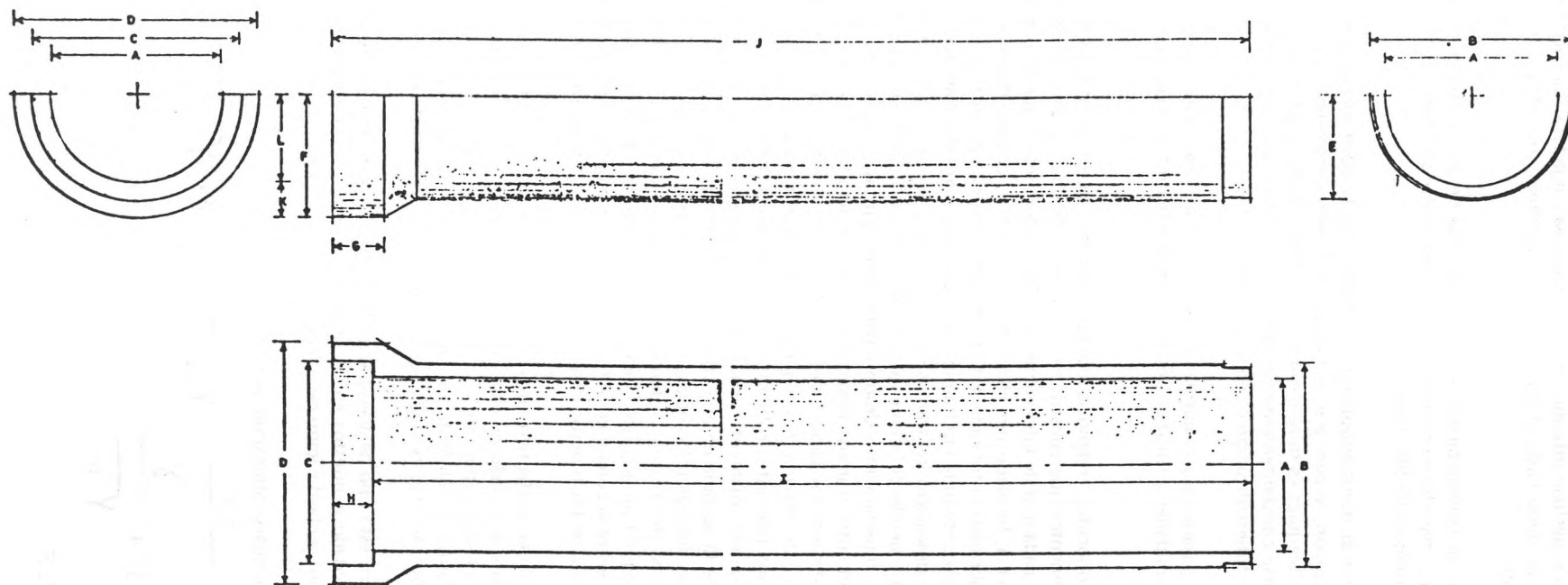
Asimismo, se incluyen en la comunicación una serie de planos y gráficos, que muestran desde la planta y secciones de estos acequias, detallando los diferentes tipos de las mismas, con el dimensionado y características de los mismos, hasta la descripción gráfica y dimensionado de todas las obras auxiliares citadas, y, un ábaco para el cálculo hidráulico de dichas redes, en función de la pendiente a dar a la acequia y la velocidad y caudal a transportar por la misma.

ACEQUIAS PREFABRICADAS DE SECCIÓN SEMICIRCULAR

Descripción y sistema de fabricación — En la adjunta **Figura nº 1**, se reflejan las dimensiones y características de los diferentes tamaños ó tipo de estas acequias — que hemos utilizado en el IRYDA para la zonas de regadio anteriormente citados, en la Cuenca del Duero, y que van desde la de menor tamaño, la A-400, denominación, debida a que el diámetro interior del círculo que la engendra tiene una dimensión de 400 milímetros, hasta la mayor, la A-1000, con un metro ó 1.000 milímetros de diámetro, y que permite la conducción de un caudal de agua de 500 litros por segundo en una pendiente de 3,75 por mil, alcanzando el agua una velocidad de 1,55 metros por segundo, manteniendo una zona de reguardo, de la superficie del agua a la coronación de la acequia, de 7 centímetros, como margen de seguridad.

Estas acequias prefabricadas, de hormigón en masa, de ben ser obtenidas por el sistema de "suspensión a rodillo", el cual comprende la doble acción de la centrifugación y la compactación, producidas por un pesado

* Doctor Ingo Agronomo. Jefe de Estudios, Planos y Programas de la Inspeccion Regional II. Norte, del IRYDA — MISSÃO Española. Convênio DNOCS/IRYDA.



TIPO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	PESO EN KG.	
													PIEZA	ML.
A-400	400	470	475	580	227	230	148	127	2500	2627	90	200	195	78
A-500	500	580	584	694	282	347	148	127	2500	2627	97	250	260	104
A-600	600	690	696	816	337	404	162	139	2500	2639	108	300	355	142
A-700	700	800	806	936	390,5	461	164	139	3000	3138	118	350	525	175
A-800	800	915	921	1060	448	531	166	139	3000	3139	130	400	562	225
A-900	900	1033	1036	1190	505	591	168	139	3000	3139	145	450	712	285
A-1000	1000	1140	1148	1313	560	656	190	161	3000	3161	156,5	500	865	346

ACEQUIAS SEMICIRCULARES TIPO

rodillo de acero. El molde que conforma las acequias ha de ser cilíndrico, con anillos terminales torneados especialmente, para formar la cuna incorporada; dicho molde será colocado en posición horizontal y suspendido sobre el rodillo. Al ponerse en movimiento el molde mediante la rotación del rodillo, se introduce el hormigón uniformemente a todo lo largo de la superficie interior, por una máquina cargadora. La fuerza centrífuga distribuye la mezcla y cuando el molde está lleno hasta el nivel del anillo terminal, los pesos combinados, del molde y del hormigón, compactan esta mezcla.

Mediante este sistema especial de compactación, es posible el uso de un hormigón cuya composición es considerablemente más baja en agua y más alta en áridos de la que usualmente se emplea en la fabricación de acequias por el sistema de hormigón vibrado en moldes fijos.

El hormigón así conseguido queda homogéneamente mezclado, sin la clasificación por densidades propia de los sistemas clásicos de centrifugación, y con gran compacidad. Consecuentemente, la resistencia a la abrasión de la superficie interna de las acequias es muy elevada. El rodillo, produce, además, un torneado interior a la pieza, confiriéndole una superficie constantemente cilíndrica y lisa, sin rugosidad que pueda producir remolinos en la vena líquida conducida, ni tuberculización ó sedimentaciones.

Una vez así moldeadas las acequias, pasarán a un riguroso control de curado mediante vapor, inmersión y riego por aspersión, con lo que todas las unidades a utilizar presenten constante uniformidad en la calidad del hormigón.

Aunque de todos sean bien conocidas, creemos adecuado el repetir, en este punto, las denominaciones empleadas para definir los distintos elementos que constituyen el conjunto de una vía de conducción de agua ó acequia de riego, antes de referirnos a cada uno de tales elementos. Así, se denomina "acequia prefabricada" al cauce artificial para la conducción de agua, formado por elementos resistentes y construidos en taller; "tramo" es el elemento que forma la acequia prefabricada entre cada dos juntas transversales consecutivas; "junta" es el elemento elástico destinado a establecer la continuidad hidráulica de la acequia, entre dos tramos consecutivos; "cuna" se denomina a la pieza sobre la que descansan los tramos; se llama "soporte" al elemento destinado a transmitir al cimiento las cargas de los tramos, siendo el "cimiento" la base, natural ó artificial, bajo tierra, sobre la que descansan los soportes, ó los tramos directamente. **Unión entre tramos: juntas** — Todas las canalizaciones presentan siempre un punto débil: la unión entre tramos consecutivos. Ello es debido a que los movimientos producidos por diversas causas, fundamentalmente las variaciones climatológicas, tienden a agrietar las piezas y ésto se transmite y concentra en las juntas. Este sistema de acequias prefabricadas de sección semicircular, del que estamos tratando, presenta, como solución para este problema, el hecho de llevar la cuna incorporada, con lo cual, en lugar de dos juntas de sellado se requiere solamente una. Cada pieza lleva, como decimos, la cuna incorporada, moldeada solidariamente al tramo de la acequia en un extremo, siendo el otro liso y de menor dimensión, de forma que ajuste perfectamente, con las debidas tolerancias, en la cuna del tramo adjacente. La robustez de las dimensiones del terminal recto, así como de la cuna, están suficiente comprobadas, cumpliendo las características del cuadro de la figura nº 1, y en ningún tipo producen debilitación al conjunto del tramo, cuyo comportamiento es isostático. La tolerancia existente entre la cuna y el extremo liso permite acoplar unas tiras flexibles de material asfáltico, tolerando el libre movimiento de los tramos sin que se afecte en absoluto la estanqueidad.

Este sistema de sellado es totalmente efectivo en la práctica, presentando la ventaja de su simple ejecución, frente a los más complicados métodos de colado en caliente ó en frío y a las ineficaces juntas de mortero ó de arcilla. Por otra parte, la tolerancia de la cuna, permite un ligero cambio de alineación para tomar curvas mediante la desviación tangencial de varios tramos. Finalmente, un factor decisivo de este sistema de acequias y juntas es la facilidad de recuperación de los tramos, sin que exista la posibilidad de deterioro de deterioro de los mismos.

Características hidráulicas — En este tipo de acequias prefabricadas de sección semicircular, cuyo sistema de fabricación y características han quedado expuestos en las líneas precedentes, el coeficiente de rugosidad de las superficies interiores de los tramos, en la clasificación de Bazin, es inferior a 0,16.

El cálculo hidráulico puede efectuarse aplicando las fórmulas:

$$V = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} \sqrt{R \cdot I} = K \cdot \sqrt{R \cdot I}$$

$$Q = V \cdot S$$

Siendo: V = velocidad "γ = coeficiente de rugosidad de Bazin
 I = pendiente "R = radio hidráulico = $\frac{\text{sección}}{\text{perímetro mojado}}$
 Q = caudal "S = sección

Por lo tanto, para su utilización práctica, basta hacer uso del ábaco, siendo siempre necesario fijar dos datos, como son, la pendiente por mil, y el caudal en litros por segundo, ó, la velocidad de circulación del agua en metros por segundo. La intersección de estas dos líneas determinará el punto cuya situación fija la sección de acequia necesaria, con un resguardo de 7 centímetros.

Montaje — Cada cuna de la acequia irá apoyada sobre un cimiento de hormigón para repartir sobre el suelo los esfuerzos de apoyo. Cuando la rasante de la acequia haya de estar a un nivel superior, se construirán sobre estos cimientos unos soportes, que pueden estar formados por un aparejo de bloques prefabricados, ó bien contruídos “in situ”, de hormigón encofrado. Las características, dimensiones y cubicación de estos cimientos y soportes, según el tipo de acequia empleado, figuran detallados en la adjunta **figura nº 3**.

Sobre el cimiento, ó en su caso el soporte, se coloca la acequia; para ello, ha de suspenderse con una grúa ó, en su defecto, mediante una cabria, de forma que manualmente se pueda presentar cada tramo en la cuna del anterior. Hecho esto, se aplica sobre el exterior del terminar recto, la tira asfáltica, procurando quede uniformemente extendida en todas sus partes. En esta posición, se baja el tramo a colocar hasta que la junta y el extremo del mismo queden correctamente alojados en la cuna; la holgura a dejar entre cada dos tramos consecutivos deberá ser de 3 a 8 milímetros.

Finalmente, con ayuda del nivel de burbuja, se comprueba si los dos cajeros, paredes laterales de cada tramo, han quedado nivelados. No debe terminarse de colocar un tramo, sin hacer esta comprobación, así como la alineación de todos los tramos, lo que puede realizarse mediante un hilo, que previamente se ha tendido entre dos jalones, situados a la distancia suficiente. De esta forma se obtienen acequias perfectamente alineadas y niveladas, factores indispensables para una buena conducción.

Utilización. Obras complementarias — Toda conducción de agua para riego a través de acequias, requiere, además de los tramos, con sus cunas, juntas, cimientos y soportes, otras unidades accesorias, que faciliten el uso de aquellas y permitan, en su caso, unir la canalización al resto de la obra.

En una red de acequias prefabricadas de sección semicircular, estos complementos pueden ejecutarse por el sistema clásico de construcción en obra, mediante fábrica de hormigón encofrado, ó, también, por el sistema de unidades y arquetas prefabricadas en taller.

Ambos sistemas son correctos, ya que cada uno de ellos tiene sus peculiares características. La prefabricación puede aportar una mayor rapidez y uniformidad en la ejecución, aunque la construcción “in situ” es mucho más versátil.

Por ello, la elección de uno u otro sistema dependerá principalmente de la posibilidad de utilizar unidades repetitivas, en cuyo caso podría elegirse el prefabricado. Cuando la obra exija gran variación de medidas, y en toda obra surgen más variaciones siempre de las previstas, en principio, al proyectar, será más competitivo y, por tanto más aconsejable, el construir cada una de estas unidades expresamente “in situ”.

El diseño de estas arquetas y obras accesorias, dependerá siempre de las características de cada proyecto, aunque, como guía, describiremos a continuación algunas de ellas, entre las que son más utilizadas en la práctica:

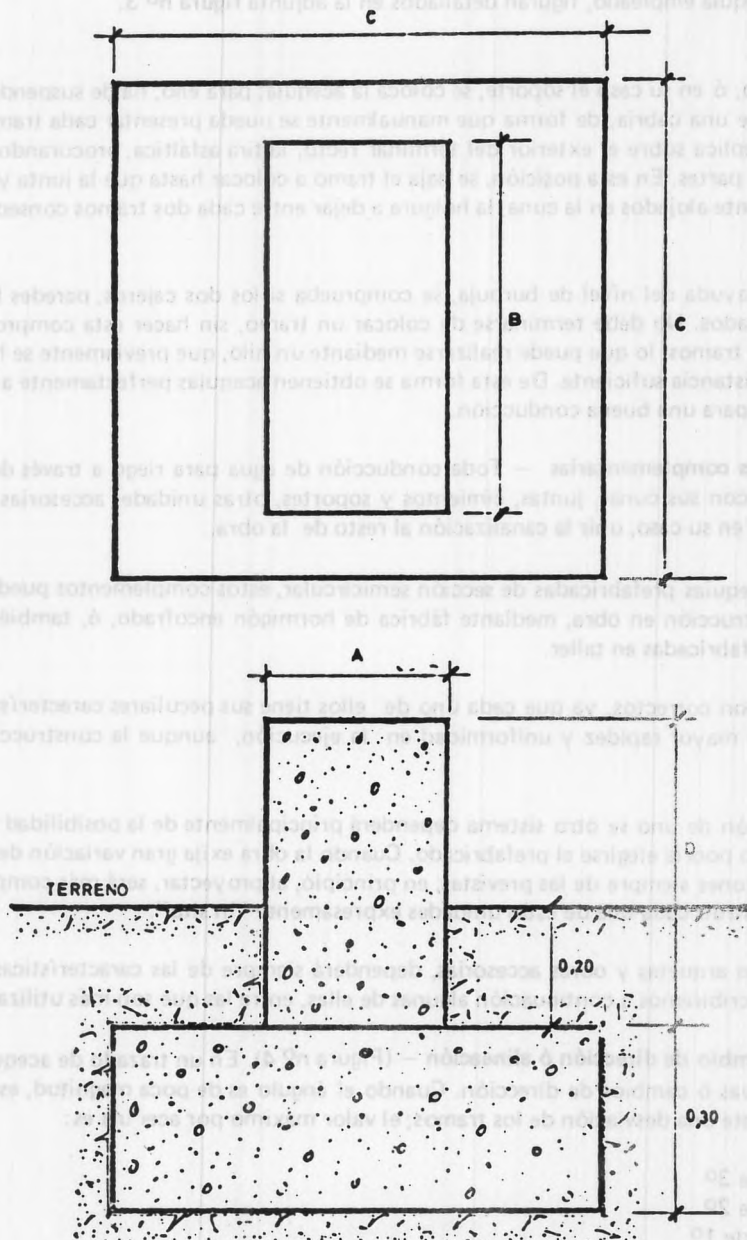
Arquetas para cambio de dirección ó alineación — (Figura nº 4). En un trazado de acequias, siempre resulta necesario efectuar curvas ó cambios de dirección. Cuando el ángulo es de poca magnitud, estas acequias pueden tomar las curvas mediante una desviación de los tramos; el valor máximo por acequia es:

Hasta A — 450, de 3º
Hasta A — 700, de 2º
Hasta A — 1.000 de 1º

Si no fuera suficiente, debido a que se precisaría una curva de arco muy grande, hemos de constituir unos vértices, en los que cambiemos la alineación de la acequia. Para ello ha de construirse una arqueta, que tenderá la suficiente dimensión para compensar la energía perdida en el cambio. La forma depende de la naturaleza y dimensiones de la variante a ejecutar, y en la adjunta **figura nº 4º** se detallan las dimensiones y cubicaciones, tanto de tierra a excavar y utilizar para relleno, como del hormigón preciso para la ejecución de estas obras, según sean contruídas sobre los diferentes tipos de acequias, de la A — 500 a la A — 1.000, que fueron las utilizadas en nuestros proyectos de regadío.

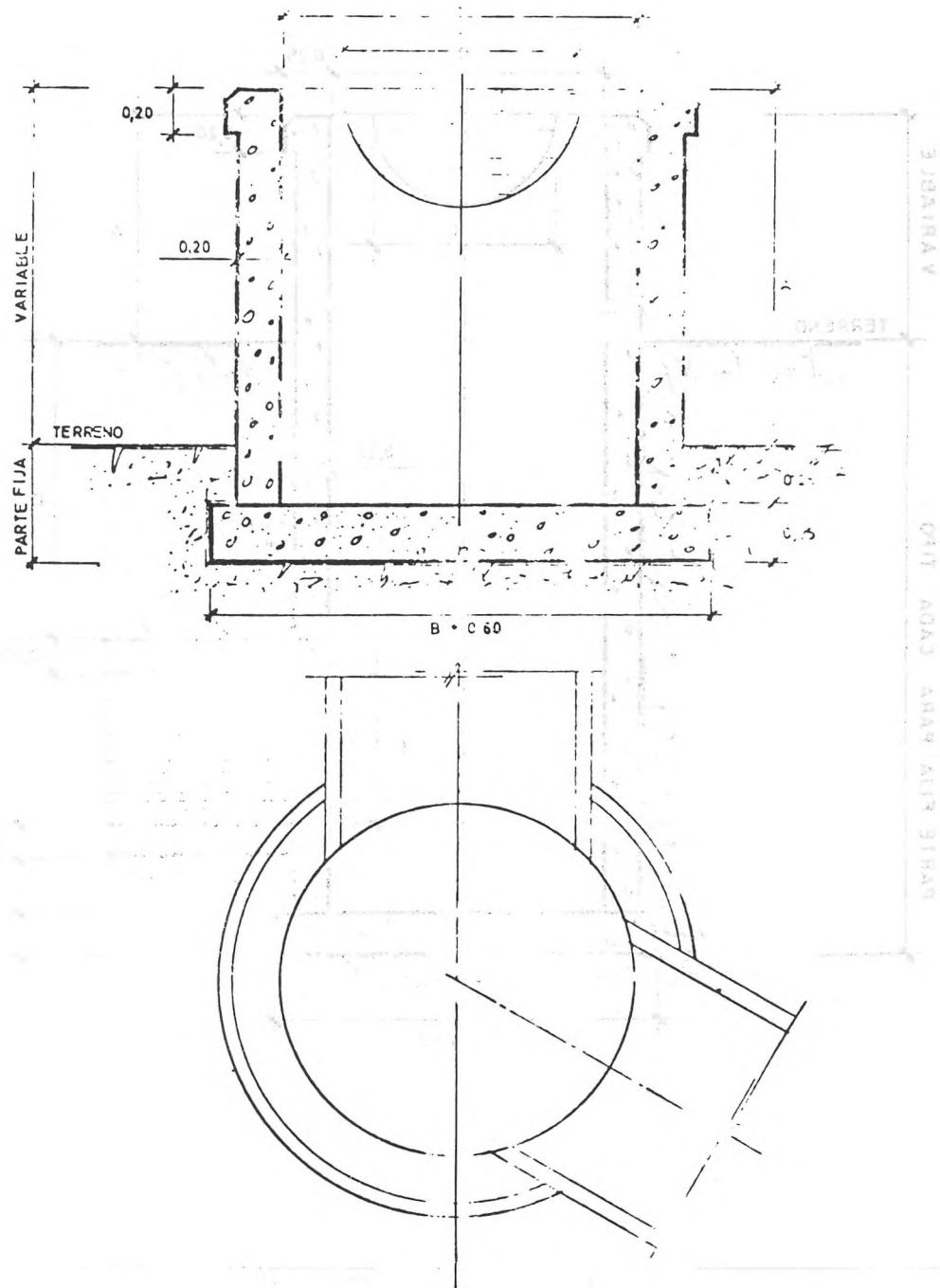
Sifones — (Figura nºs 5 y 6) — Es frecuente que la red de acequias tenga que cruzar caminos, carreteras, ferrocarriles etc., ó salvar cualquier otro tipo de accidente, ya sea natural ó artificial. Cuando esto ocurra, hay que interrumpir la conducción y continuarla en tubería enterrada, hasta que se haya sobrepasado el impedimento. En estos casos habrá que construir las arquetas de entrada y salida del sifón. Han de ser de dimensiones suficientes para que puedan visitarse interiormente, a efectos de limpieza y registro.

IRYDA	DENOMINACION: SOPORTES PARA ACEQUIAS PREFABRIC.		REFERENCIA
	SIE		fl. 10
Figura nº 3	OBRAS EN LA RED DE ACEQUIAS		ESCALA
	TIPO: GENERAL		1:10



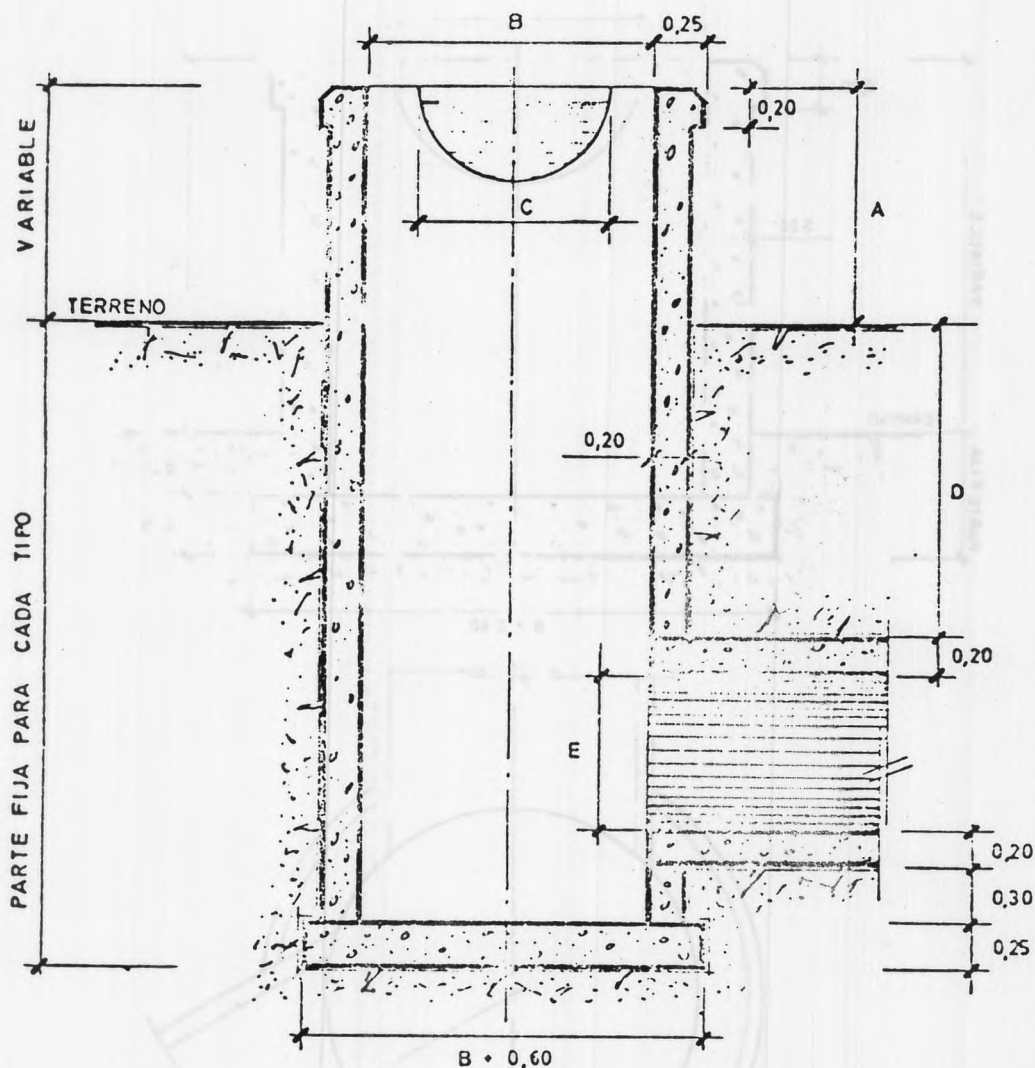
TIPO		DIMENSIONES					M3 HORMIGON			M3 TIERRAS				
		(1) A PARA D<1,00	(2) A PARA D>1,00	B	C	D	BASE	ALZADO M³ POR ML (1)	ALZADO M³ POR ML (2)	M³ EXCAVAC	M³ RELLENO (1)	M³ EXTENDI (1)	M³ RELLENO (2)	M³ EXTENDI (2)
1	A 1000 900	0,30	0,40	0,60	0,60	VARIABLE	0,192	0,180	0,240	0,320	0,092	0,228	0,090	0,240
2	A 800 700	0,30	0,40	0,50	0,70	VARIABLE	0,147	0,150	0,200	0,245	0,068	0,177	0,058	0,157
3	A 600 500	0,30	0,40	0,40	0,60	VARIABLE	0,108	0,120	0,160	0,180	0,048	0,132	0,040	0,140

TR. 04	DIRECCION GENERAL DE OBRAS EN LA RED DE ACQUEDUCTOS	TR. 04
Figura nº 4	Tipo GENERAL	TR. 04



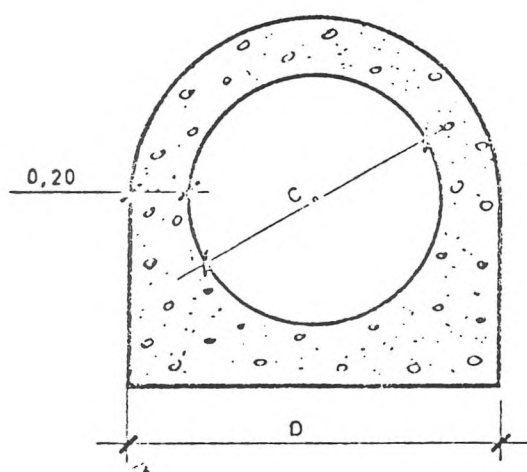
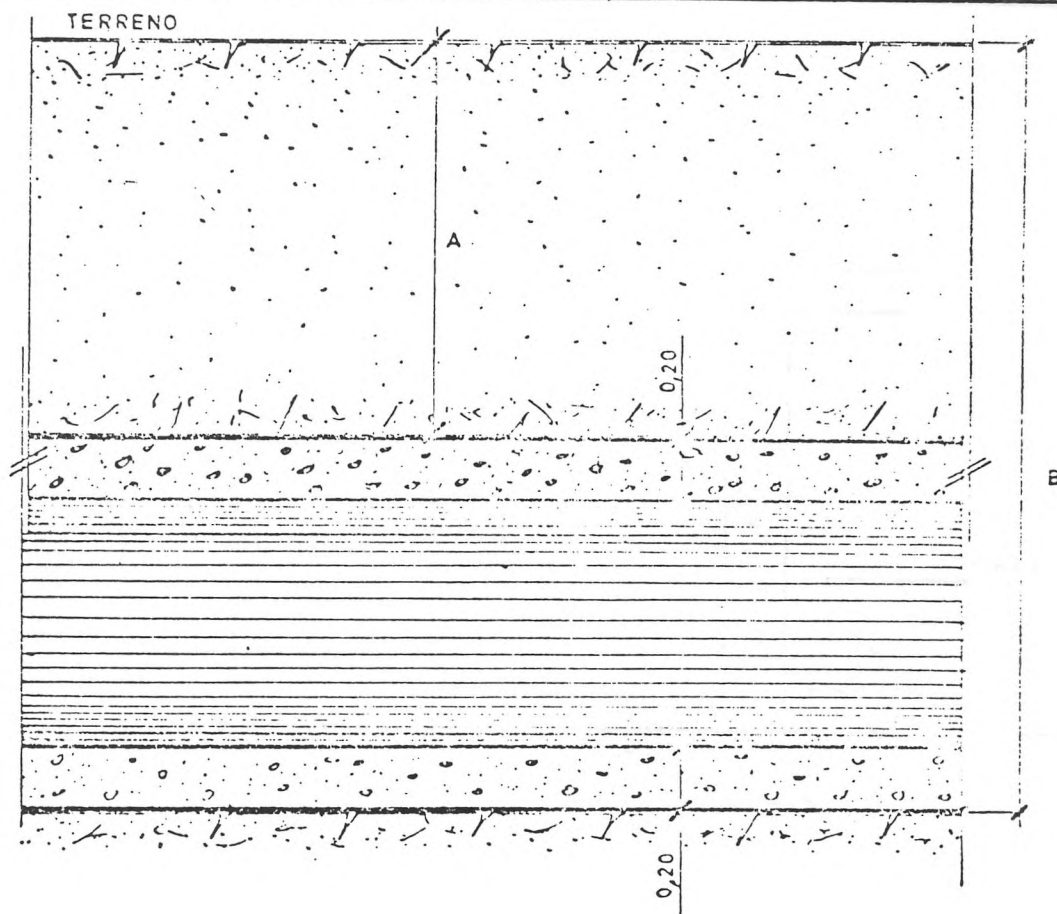
TIPO	DIMENSIONES			PARTE FIJA PAR. CADA							PAR.		
				C U I A C O E S									
	A	B	C	EXCAVAC	RELU	TEN	BASE	...	...	...	...	...	...
...	...	1.0	1.00 0.50	1.731	...	0.574	0.366	...	...	0.54	...	...	...
...	...	1.0	0.40 0.10	1.005	0.1	0.081	...	...	...	0.08	...	...	...
...	...	0.40	0.60 0.50	0.770	...	0.664	...	...	...	...	...	...	...

IRYDA	DENOMINACION: ARQUETAS PARA SIFONES	CALA 1:40
	SERIE: OBRAS EN LA RED DE ACEQUIAS	
Figura nº 5	TIPO: GENERAL	



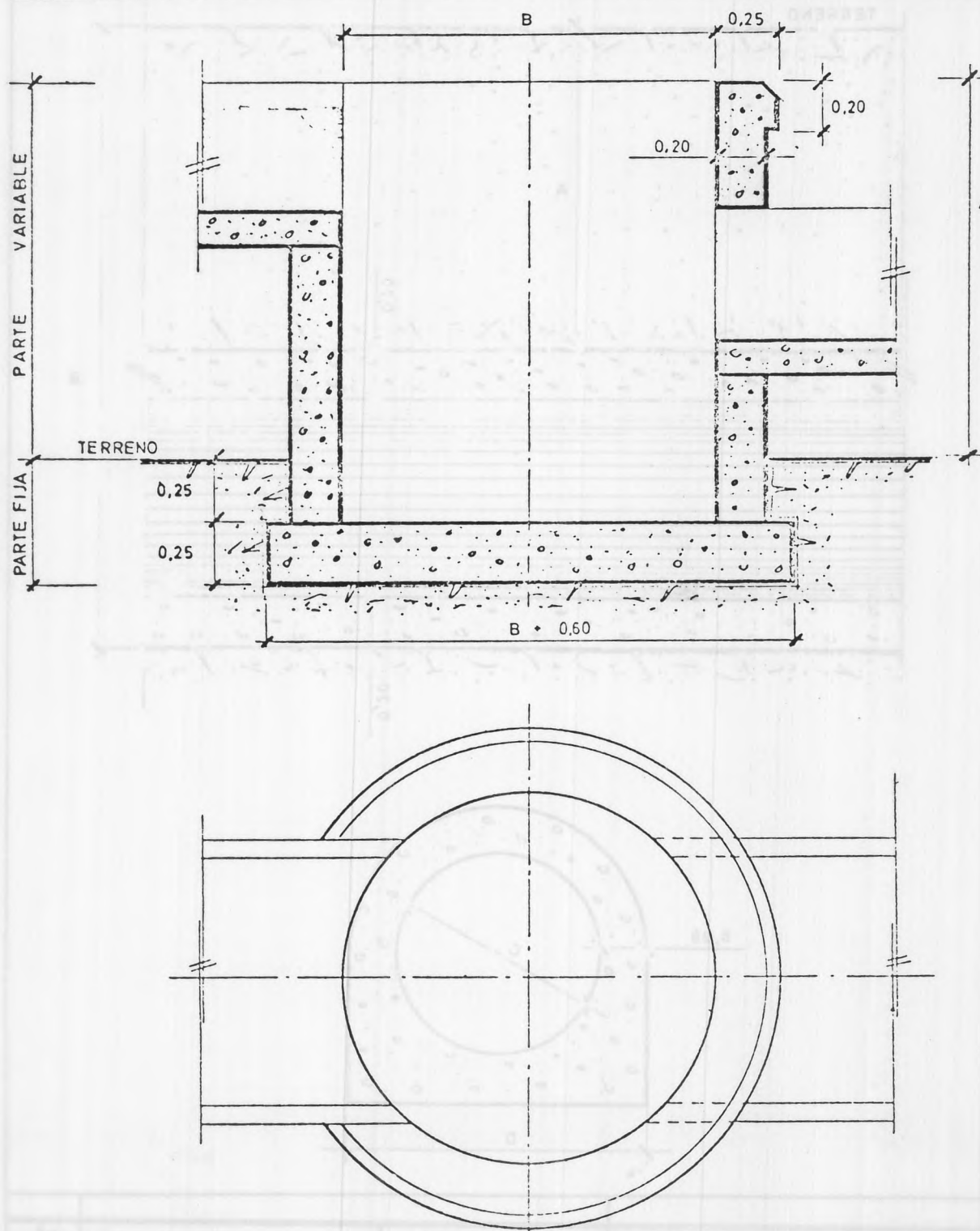
						PARTE FIJA PARA CADA TIPO								VARIABLE
TIPO	DIMENSIONES					M ³ TIERRAS			M ³ HORMIGON				TIPO DE PERFORACION ALTIMETRIA	
	A	B	C	D	E	EXCAVACION	RELLENO	EXTENDIDO	BASE	ALZADO	IMPOSTA	TOTAL		
1	A 1000 900	VARIABLE	1,50	1,100 0,90	0,70	0,80	8,486	1,362	7,104	0,866	2,350	0,054	3,270	1,00
2	A 1000 900		1,50	1,00 0,90	1,20	0,80	10,218	1,697	8,521	0,866	2,884	0,054	3,904	1,00
3	A 1000 900		1,50	1,00 0,90	1,70	0,80	11,949	2,011	9,938	0,866	3,418	0,054	4,338	1,00
4	A 800 750	VARIABLE	1,00	0,70 0,60	0,70	0,60	4,524	0,942	3,582	0,502	1,529	0,040	2,050	0,75
5	A 800 750		1,00	0,70 0,60	1,20	0,60	5,529	1,179	4,350	0,502	1,884	0,040	2,406	0,75
6	A 800 750		1,00	0,70 0,60	1,70	0,60	6,535	1,414	5,121	0,502	2,262	0,040	2,804	0,75

RYDA	DENOMINACION	TUBOS NORMALES PARA SIFONES	REFERENCIA fl. 15
	SERIE	OBRAS EN LA RED DE ACEQUIAS	
Figura n.º	TIPO	GENERAL	ESCALA 1:25



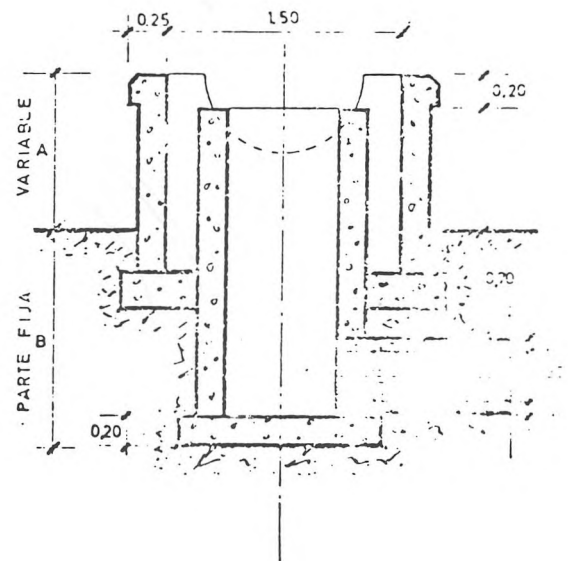
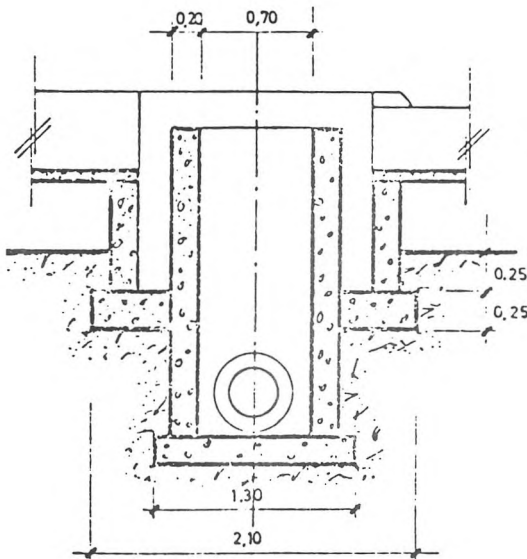
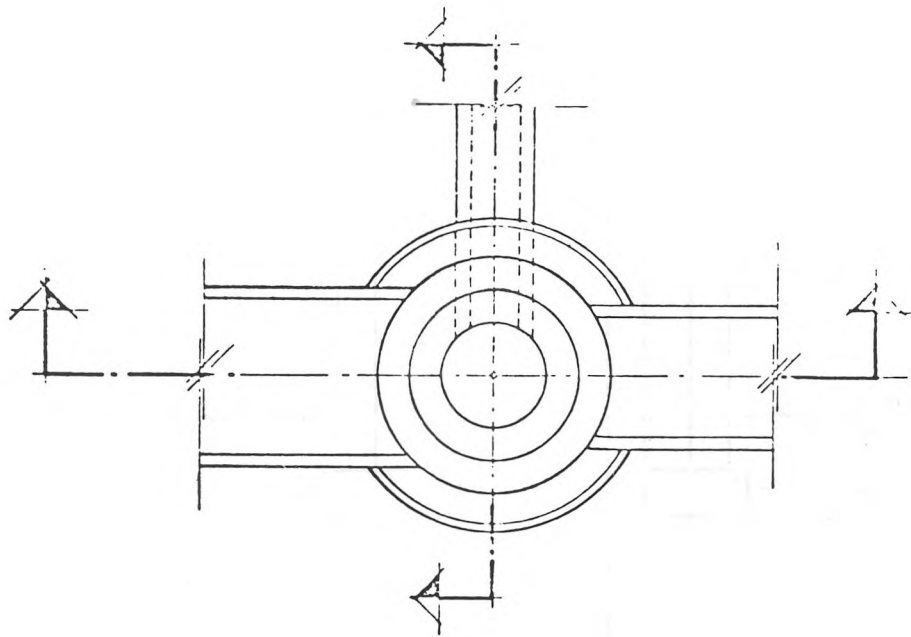
TIPO	DIMENSIONES					M3 TIERRA POR ML.							M3 BORMICO POR ML
	A	B	C	D	SECCION INTERIOR	EXCAVACI.	RELLENO	EXTENDID.					
A 1000 500	0,70	1,90	0,80	1,20	0,50	2,280	0,995	1,285					0,783
A 1200 600	1,20	2,40	0,80	1,20	0,50	2,860	1,595	1,285					0,783
A 1000 900	1,70	2,90	0,80	1,20	0,50	3,480	2,195	1,285					0,783
A 800 500	0,70	1,70	0,60	1,00	0,28	1,700	0,807	0,893					0,610
A 800 500	1,20	2,20	0,60	1,00	0,28	2,200	1,307	0,893					0,610
A 800 500	1,70	2,70	0,60	1,00	0,28	2,700	1,807	0,893					0,610

IRYDA	DENOMINACION	ARQUETAS PARA SALTOS	REFERENCIA
	SERIE:	OBRAS EN LA RED DE ACEQUIAS	fl.16
Figura nº 7	TIPO:	GENERAL	ESCALA
			1:25



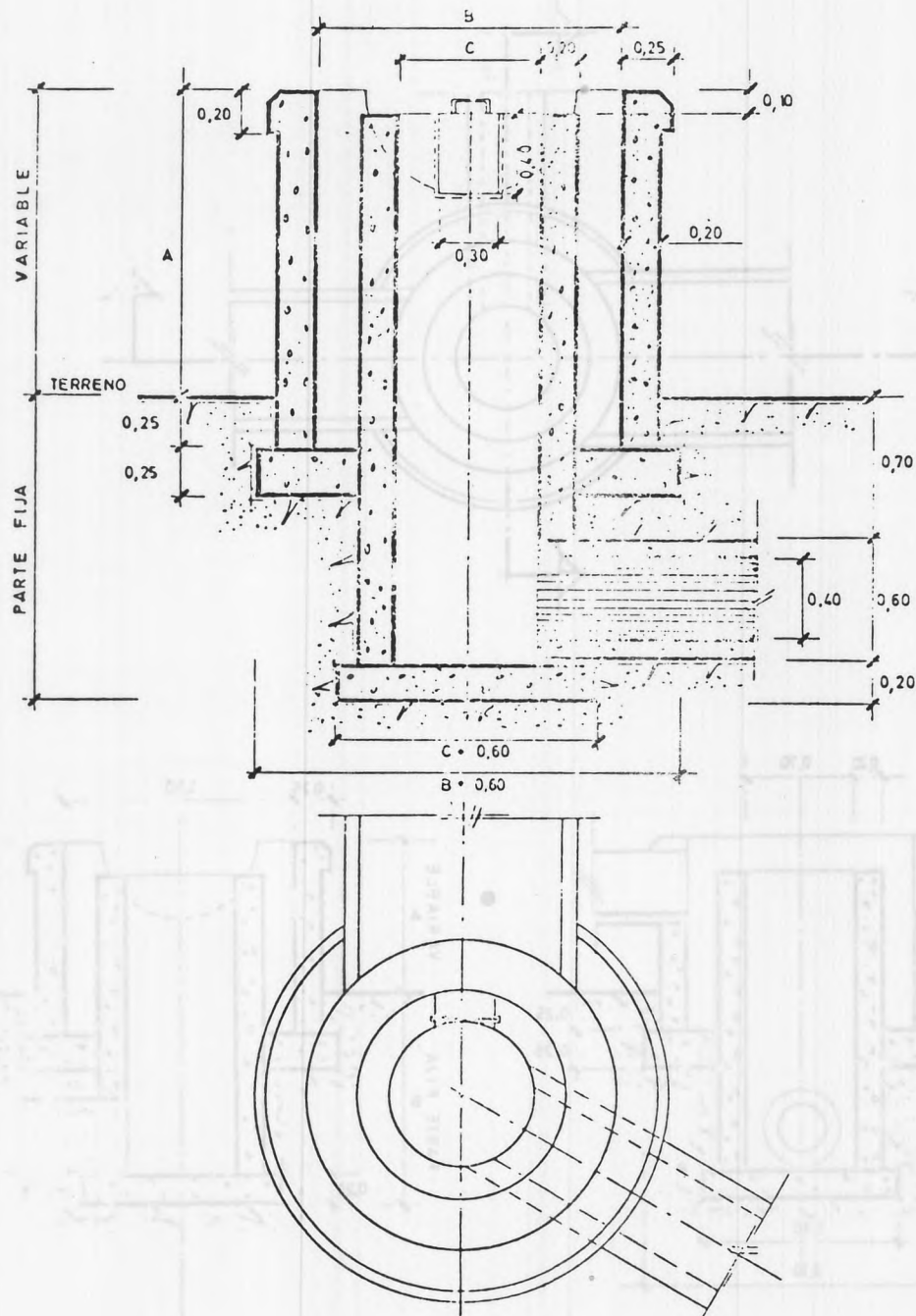
				PARTE FUA PARA CADA TIPO								VARIABLE	
TIPO		DIMENSIONES			CUBICACIONES								
					M3 TIERRAS			M3 HORMIGON				M3 HORM. PAR M.D.E. ALTURA	
		A	B	C	EXCAVAC	RELLENO	EXTENDID	BASE	ALZADO	IMPOSTA	TOTAL		
1	A 1000 900	VARIABLE	1,50		1,731	0,157	1,574	0,866	0,260	0,054	1,188	1,072	
2	A 800 700		1,00		1,005	0,118	0,887	0,503	0,189	0,040	0,732	0,756	
3	A 600 500		0,80		0,770	0,102	0,668	0,385	0,157	0,034	0,576	0,628	

IRYDA	DENOMINACIÓN	ARQUETA ALIVIADERO	40
	SERIE	OBRAS EN LA RED DE ACEQUIAS	
FIGURA Nº 8	TIPO	GENERAL	



TIPO UNICO	DIMENSIONES			PARTE FIJA						VARIABLE	
				CUBICACIONES						M3 TIERRAS	
				M3 TIERRAS			M3 HORMIGON			M3 TIERRAS	
	A	B	C	LXCAVAC	RELLEN/EXTENDID	BASE	ALICADO	IMPOSTA	TOTAL	M3 TIERRAS	M3 HORMIGON
ARQUETA EXTERIOR	VARIABLE	140	—	1,068	0,157	0,911	0,628	0,054	0,943	0,054	0,054
ARQUETA INTERIOR	—	—	—	1,858	0,264	1,594	0,265	0,054	0,343	0,054	0,054
TOTAL				2 926	0 421	2 505	0,893	0,054	1,892	1,602	0,108

IRYDA	DENOMINACION	ARQUETA DE COLA PARA ACEQUIAS	19
Figura nº 9	SERIE:	OBRAS EN LA RED DE ACEQUIAS	1:30
	GENERAL		



				PARTE FIJA							VARIABLE	
TIPO UNICO	DIMENSIONES			C U B I C A C I O N E S								VARIABLE
				M3 TIERRAS			M3 HORMICON					
	A	B	C	EXCAVAC.	RELLENOS	EXTENDID.	BASE	ALZADO	IMPOSTA	TOTAL		
ARQUETA EXTERIOR	VARIABLE	1,50	—	1,068	0,157	0,911	0,628	0,257	0,054	0,949	1,033	
ARQUETA INTERIOR	—	—	0,70	1,991	0,302	1,689	0,265	0,735	—	1,000	0,565	
TOTAL				3,059	0,459	2,600	0,893	1,002	0,054	1,949	1,633	

Se evitará en lo posible la pérdida de carga motivada por el sifón, y, en todo caso, es muy conveniente dotar a estas arquetas siempre, en el fondo de las mismas, de un pocillo de sedimentación ó arenoso, para tratar de mantener el tubo del sifón continuamente limpio y libre de impedimentos. En su parte superior dispondrán de un alojamiento para recibir la acequia, y en su inferior de otro para el tubo. Ambos han de ser bien impermeabilizados, puesto que estas arquetas generalmente quedan llenas de agua.

Las características, dimensiones y cubicación de estas arquetas de entrada de sifón, vienen detalladas en la **figura nº 5**, y el detalle y mediciones de los tubos a emplear se reflejan, asimismo, en la **figura nº 6**, según, en ambas figuras, el tipo de acequia para la que sean construídos unas y otros.

Arquetas para saltos (Figura nº 7). — Cuando en una conducción se cambia de velocidad, bien por variación en la pendiente, en la sección ó en el caudal, para evitar que se produzcan turbulencias en el punto de cambio, es aconsejable instalar unas arquetas de sección mayor y suficiente longitud, para compensar con ello la pérdida de carga, facilitando de esta forma un régimen de circulación laminar.

Las dimensiones son variables, y en la adjunta figura nº 7 vienen reflejadas las características y cubicaciones de las partes fijas de cada tipo de arqueta, en función de las acequias a las que van acopladas, según la tipificación de estas obras que realizamos en el IRYDA, para nuestros proyectos de transformación de zonas regables, empleando estas redes de acequias.

Arquetas aliviadero y arquetas para cola de acequia (Figura nºs 8 y 9) Cuando se quiere tomar una derivación del caudal que discurre por una acequia, bien para abastecer una nueva conducción secundaria, bien como aliviadero, ó simplemente como cola ó vertedero del agua sobrante que discurre por dicha acequia principal, y esta derivación se hace por debajo del nivel del suelo, enterrada, a través de un camino, como generalmente ocurre, el que discurre paralelo a dicha acequia, flanqueado por la misma y el cauce de desagüe de las aguas sobrantes de la nasa de tierras regada, colindante, se construyen, estas obras, consistentes en una doble arqueta concéntrica, una de vertido de la acequia originaria, y la otra de recogida y derivación, a través de tubería subterránea, de este caudal.

La diferencia entre un tipo y otro de estas arquetas, ya sean para aliviadero ó para vertedero de cola, estriba en la disposición de la tubería enterrada que, mientras en el primer caso va a la acequia, en el segundo, cuando se trata exclusivamente de verter a un desagüe aguas sobrantes, la dirección del tubo formará con la de la acequia un ángulo mucho más abierto, para conseguir una mayor pérdida de carga, y que el agua por dicho tubo vierta en el cauce de saneamiento, generalmente construido en tierra, no ocasione daños, motivados por erosión excesiva, en dicho cauce de desagüe; en cualquier caso, siempre es conveniente revestir con hormigón un tramo de la pared de este desagüe, donde vierte el tubo.

En las **figuras nºs 8 y 9** se adjunta el diseño de estos tipos de obras, con las dimensiones y cubicaciones de las mismas.

Como resumen de todo lo expuesto en la presente comunicación, queremos repetir una vez más que no hemos tratado, en la misma, de manifestarnos en el sentido de aconsejar, en todo tipo de transformación en regadío, estas redes de acequias prefabricadas de sección semicircular, como la única solución aceptable. Las soluciones son muy variadas, tantas como tipos de transformación y variantes de acequias, y, en ningún caso, queremos excluir las ventajas de unas sobre otras, en cada caso particular. Lo único que hemos pretendido ha sido dejar reflejada una experiencia en cuanto a la utilidad de estas redes de acequias, adoptadas como la solución mejor en varias de nuestras transformaciones, tras el ensayo de otros diversos sistemas y tipos acequias.

IMPERMEABILIZAÇÃO DE CANAIS DE TERRA COM SUBSTÂNCIA QUÍMICAS, PARA FINS DE IRRIGAÇÃO

Antônio Ermano Interaminense*
Blamor Torres Loureiro**
Juarez de Souza e Silva***
Telmo Carvalho Alves da Silva****

1. INTRODUÇÃO

A irrigação no Brasil contribui ainda com pequena parcela para o desenvolvimento da agricultura do país, gerando apenas cerca de 4% da produção total do setor, ocupando uma área de, aproximadamente, 550.000 ha, 70% dos quais no sul do país (5).

Uma das maiores preocupações do Governo tem sido o aproveitamento de áreas agricultáveis, nas regiões semi-áridas sob o ponto de vista técnico e econômico, através de melhor utilização de seus recursos hídricos. Em regiões em que há necessidade de se manter um sistema de irrigação, para possibilitar o êxito da exploração agrícola, é comum deparar-se com o problema das altas perdas d'água por infiltração em canais de terra, elevando os custos operacionais da irrigação, tornando-a praticamente impossível de ser realizada, quando se têm grandes áreas e poucos recursos hídricos.

Em razão disto, a irrigação em regiões onde há deficiência hídrica, com a adoção de técnicas adequadas, tem merecido a atenção dos setores governamentais, através da implantação de centros de irrigação e expansão de áreas cultivadas, permitindo, assim, a diversificação das culturas e o incremento da produtividade.

Dentre os sistemas de irrigação empregados, o de superfície é o mais usado, apresentando inúmeras vantagens sobre os demais. É indicado para irrigar quase todas culturas, em diversos tipos de solos, tendo como principais limitações seu emprego em solos de permeabilidade excessiva e topografia muito irregular.

A condução d'água por esse método de irrigação é comumente feita através de canais de terra, todavia, em muitos casos, esse sistema de condução é ineficiente, em razão das grandes perdas por infiltração. Em vários países, como afirmou ZIFROLD REYES (13), essas perdas d'água por infiltração variam de 30 a 50%.

Em solos porosos, os canais não revestidos ou não impermeabilizados perdem grande quantidade d'água por infiltração. Sendo a impermeabilização química um meio eficaz para reduzir as perdas advindas da infiltração d'água, procurou-se dar continuidade ao estudo em epígrafe, de acordo com os trabalhos (1, 2, 4, 7), desenvolvendo-se este, que testará a eficiência de três compostos químicos: hidróxido de sódio (NaOH), carbonato de sódio (Na_2CO_3) e metassilicato de sódio (Na_2SiO_3), em quatro concentrações para se reduzir as perdas por infiltração, visando, assim, maior economia d'água.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Diversos autores, visando minorar os problemas acarretados pelas perdas d'água por infiltração nos canais de terra, levaram a efeito vários trabalhos, incluindo, entre eles, tratamentos com asfalto, concreto, bentonite, membrana plástica, cimento, solo-cimento e impermeabilizantes químicos, tudo indicando que o último é o de menor custo operacional.

DUARTE (4), em solos da série "Ecologia", no Instituto de Ecologia e Experimentação Agrícola (I.E.E.A.), estudou o problema de redução das perdas d'água por percolação em canais de terra para irrigação, quando os canais eram tratados com uma solução de NaOH a concentração 60/100. Verificou que, antes do tratamento com a solução, as perdas d'água ao longo do canal foram de 2,98 l/s, correspondendo a 34,65% do total d'água aplicada no canal. Após o tratamento das paredes internas do canal, constatou uma redução de 16,05% nas perdas, apesar da baixa percentagem de argila existente no solo estudado.

BARRETO et alii (2) estudaram a influência da declividade nas perdas de solo e d'água nos canais não vegetados, com tratamento de solução de NaOH à 30/100, verificando que, para as declividades de 1 a 50/100, a perda de solo foi mínima, enquanto que a perda d'água por infiltração foi máxima. Com o acréscimo do declive, reduziu-se a perda d'água, tendo sido aumentada a perda de solo. Para medir as vazões de entrada e saída

* Engenheiro Agrônomo; M.Sc. Universidade Federal de Viçosa.

** Professor Orientador — Universidade Federal de Viçosa.

*** Professores Conselheiros — Universidade Federal de Viçosa.

os autores usaram vertedores triangulares de 90°, de paredes delgadas e de queda livre.

PURI (7) testou a impermeabilização com Na_2CO_3 a 10/100 em dois canais com comprimento de 30 m cada, verificando que seu efeito na perda d'água por infiltração foi notável. A perda d'água foi reduzida de 50% em um caso e de 45% no outro, durante um período de 4 dias.

O mesmo autor adotou procedimento idêntico num canal de 20 km. O canal foi suprido com uma vazão de 54 m^3/s (1530,00 l/s). Com essa descarga, foram feitas medições que mostraram uma economia de 2,3 m^3/s (65,00 l/s) d'água.

REGINATO et alii (8), em experimentos de laboratório e campo, objetivando modificar a estrutura do solo, utilizaram cloreto de sódio (NaCl), pirofosfato de tetrassódio ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$), hexametáfosfato de sódio ($\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{21}$) e Na_2CO_3 . Verificaram que o NaCl reduziu a infiltração nos testes de laboratório, porém sua eficiência durou apenas seis meses, nos reservatórios tratados. A dispersão dos agregados do solo foi temporária, e os tratamentos de campo foram ineficientes, em razão de os sais não terem reagido convenientemente ao cálcio.

Os mesmos autores estudaram as perdas d'água por infiltração em solos agregados com cálcio, confirmando serem reduzidas as perdas pelo tratamento com Na_2CO_3 , quando o solo não era compactado. Determinaram, também, através da análise do solo, a quantidade de Na_2CO_3 a misturar no solo, a uma profundidade de 3 a 5" (7,6 a 12,7 cm), constatando uma redução das perdas d'água por infiltração de 12,7 cm/dia para 0,38 cm/dia nos testes de campo.

SEWELL (9) realizou uma série de testes em laboratório, usando oito tipos de solos do Tennessee, onde havia problemas de vedação em reservatórios. As amostras foram tratadas com várias substâncias químicas e os tratamentos que mais se destacaram, para todos os solos, foram os referentes à aplicação de Na_2CO_3 e pirofosfato de sódio ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) a 12,5 e 5 t/ha, respectivamente.

O autor constatou que a permeabilidade das amostras de solo não tratadas era maior 14 a 92 vezes do que no solo tratado com Na_2CO_3 e 16 a 50 vezes em relação ao solo tratado com $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$.

Estudos de permeabilidade em amostras de solo seco ao ar, com permeâmetro, realizados por SEWELL (10), utilizando Na_2CO_3 , $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ e NaCl , encontraram para solos Armour argila franco siltosa, uma taxa de permeabilidade de $K = 0,030$ cm/dia. Segundo o autor, esses testes indicam que seriam necessárias, aproximadamente, 7,5 t de $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ou cerca de 17,5 t de Na_2CO_3 por hectare para se conseguir o mesmo efeito.

Os resultados dos tratamentos com NaCl indicam que a taxa de permeabilidade (K) diminui depois da primeira semana da aplicação, quando então aumenta rapidamente. Isso em virtude da reação entre os íons sódio do NaCl e os íons cálcio do solo, produzindo CaCl_2 , o qual é altamente solúvel em água. Em contraste, uma reação semelhante envolvendo Na_2CO_3 ou um fosfato de sódio produz CaCO_3 ou um fosfato de cálcio, ambos muito insolúveis.

Johnsen et alii, citados por SEWELL (11), tratando dois vazamentos em reservatório, assentado sobre material geológico de formação eólica, em Iowa, com $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ a 5,5 e 11 t/ha, respectivamente, para o primeiro e segundo vazamentos, constataram uma redução das perdas por infiltração na ordem de 20%, em relação às que ocorriam antes dos tratamentos.

WICKLINE (12) afirma que a represa assentada em solo calcário, onde a água se infiltrava rapidamente, e que nunca havia armazenado mais do que uma altura de 45,72 cm d'água. Após o solo ter sido tratado com tripolifosfato de sódio ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$), passou a armazenar uma altura de 121,92 cm d'água.

Bittencourt, citado por BARRETO (1), em ensaio de laboratório, para barragem, submeteu amostras de Terra Roxa Misturada a tratamento de NaOH , Na_2CO_3 e Na_2SiO_3 a várias concentrações. Uma das amostras foi tratada exclusivamente com água, servindo como testemunha. O autor acentuou que os resultados mostraram, para esse tipo de solo, que o tratamento com NaOH a 30/100 seria mais que suficiente na impermeabilização, pois as perdas d'água por infiltração, nesse caso, foram insignificantes (0,244 mm/h). Para a substância Na_2SiO_3 , o melhor tratamento foi com solução a 60/100, enquanto que, para solução de Na_2CO_3 , a melhor concentração foi a 40/100, dando, respectivamente, 24,8 e 13,0 mm/h em altura d'água percolada.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Diversas substâncias químicas foram utilizadas neste trabalho, visando a impermeabilização de canais de terra, constituídos em solo Podzólico Vermelho Amarelo Câmbio, fase terraço, com objetivo de reduzir as perdas d'água por infiltração e medidores WSC flume, para medir as descargas nos canais. O trabalho foi executado, inicialmente, em laboratório, para selecionar as concentrações mais eficientes, e, além disso, a aferição de medidores WSC flume, para posterior emprego no campo.

3.1. Laboratório

O experimento foi realizado nas dependências do Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, no período de Ago.-Set./74.

O experimento constou de um arranjo fatorial $2 \times 3 \times 4$, disposto no delineamento em blocos casualizados, com três repetições, para dois estados de umidade do solo (F), três substâncias (S) e quatro concentrações (C), totalizando 24 tratamentos, onde cada tubo percolador representava uma parcela.

Na construção dos percoladores, utilizou-se mangueira cristal com 50 cm de comprimento e 4 cm de diâmetro, telada na extremidade inferior.

Os níveis dos fatores testados foram os seguintes:

1) Para estado de umidade do solo:

E₁ – Solo úmido (TESA + 150 ml d'água)
E₂ – Solo seco (TESA)

2) Para substância:

S₁ – Hidróxido de sódio – NaOH
S₂ – Carbonato de sódio – Na₂CO₃
S₃ – Metassilicato de sódio – Na₂SiO₃

3) Para concentração:

C₁ – Concentração de 1^o/oo da substância
C₂ – Concentração de 3^o/oo da substância
C₃ – Concentração de 5^o/oo da substância
C₄ – Concentração de 7^o/oo da substância

Inicialmente, foram coletadas as amostras de material de solo de 0 a 30 cm de profundidade, em vários pontos da área, onde, posteriormente, seriam construídos os canais e dessas amostras se obteve terra fina seca ao ar (TESA).

As análises granulométrica e química do material foram feitas no Laboratório de Solos do Departamento de Fitotecnia da U.F.V., cujos resultados se vêem nos Quadros 1 e 2.

QUADRO 1 – Análise Granulométrica do Solo da Fazenda Paraíso

Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Classificação Textural
%	%	%	%	
9	10	28	53	Argilosa

Realizada no Laboratório de Solos do Departamento de Fitotecnia da U.F.V.

QUADRO 2 – Análise Química do Solo da Fazenda Paraíso

pH em água (1:2,5)	Ca+Mg (eq. mg/100g)	K (eq. mg/100g)	Na (eq. mg/100g)	H+Al (eq. mg/100g)	CTC (eq. mg/100g)	S (eq. mg/100g)	V %	M.O. %
5,6	5,36	0,10	0,09	4,96	10,51	5,55	52,80	1,60

Realizada no Laboratório de Solos do Departamento de Fitotecnia da U.F.V.

3.1.1 – Preparo dos Percoladores

Foram instalados numa estante de madeira, 72 percoladores, sendo que cada um recebeu 500 g de TESA, equivalente a uma coluna de aproximadamente 0,30 m. Visando a conseguir um acondicionamento homogêneo nas colunas de solo, foi usado um motor de agitação de transmissão cônica Sargeant, com um bastão de 60 cm, terminado por um arranjo de fios metálicos, que possibilitou uniformizar o solo nos tubos. A ponta para uniformização foi inserida no tubo, e enquanto o solo era despejado pela parte superior, o tubo era gradualmente abaixado. Procurou-se manter a ponta do agitador enterrada 3 cm no solo, durante toda a fase de enchimento dos tubos.

Após a montagem da estante de percoladores, metade dos tubos foi umedecida com 150 ml d'água por percolador, antes de receber as respectivas substâncias químicas. Decorridas 24 h da aplicação d'água, ocasião em que ela já havia se infiltrado, aplicou-se 30 ml de solução nas concentrações, respectivamente, de C₁, C₂, C₃ e C₄ em cada tubo. Duas horas após à infiltração dos 30 ml da solução, aplicaram-se 300 ml d'água, anotando-se a hora da aplicação.

Depois de 24 h, mediu-se, através de uma proveta, a água não infiltrada, e, por diferença, determinou-se a água consumida. A água percolada era coletada em um reservatório metálico instalado na parte inferior de cada tubo percolador.

Realizou-se a análise de variância desses dados, como se vê no Quadro 3.

As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, Quadros 6 e 8.

As análises estatísticas foram feitas de acordo com os modelos indicados por PIMENTEL GOMES (6).

3.1.2 Preparo dos Medidores de Descargas

A. Construção do medidor WSC flume

Construiu-se dois medidores WSC flume com folhas de flandres nº 26, com capacidade máxima de 75 l/s cada. As dimensões e modelo para construção são as indicadas por CHAMBERLAIN (3).

No interior da calha instalou-se uma régua graduada com precisão de milímetros, a fim de se determinar as alturas de carga.

B. Calibração do Medidor WSC flume

Para calibração do medidor WSC flume utilizou-se o Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia-Agrícola da U.F.V.

Inicialmente, adaptaram-se às extremidades da calha duas seções de madeira com 2 m de comprimento cada, também de seção trapezoidal, para simular as paredes do canal e evitar turbulência excessiva da água dentro da calha. A água teve, assim, seu curso normal, possibilitando efetuar, com maior precisão, as leituras de carga.

Instalou-se o conjunto, calha mais seções trapezoidais, no canal suspenso de alvenaria, tendo-se o cuidado de nivelar o conjunto, quer longitudinal, quer transversalmente.

Para determinar as vazões de cada carga na calha, foram feitas as leituras do volume d'água na caixa de aferição, por meio de uma ponta linimétrica ótica com precisão de décimo de milímetro, e marcando-se o tempo de operação. A carga máxima observada foi de 30 cm, usando-se três repetições para cada altura da veia líquida.

Com as alturas de cargas e as vazões correspondentes, marcaram-se os pontos em um papel milimetrado e traçou-se a curva altura de carga versus vazão, para o medidor WSC flume em estudo. Podendo, desse modo, determinar-se no ensaio de campo, qualquer vazão, conhecendo-se a altura de lâmina d'água (Figura 1).

3.2. Campo

O experimento foi realizado durante o período de Set.-Npv/74 em solo Podzólico Vermelho Amarelo Câmbico, fase terraço, da Fazenda Paraíso, em Viçosa.

Depois de se comparar as médias dos dados obtidos em laboratório, pelo teste de Tukey, conforme os Quadros 6 e 8, escolheram-se os melhores tratamentos que foram levados para o campo. Desse modo, foram selecionados seis tratamentos mais eficientes e menos dispendioso, para cada uma das três substâncias usadas, mais a testemunha, parcela que não recebeu aplicação de substância química.

1. E₁ S₁ C₁ (solo úmido tratado com hidróxido de sódio à concentração de 10/oo)
2. E₁ S₁ C₂ (solo úmido tratado com hidróxido de sódio à concentração de 30/oo)
3. E₁ S₂ C₁ (solo úmido tratado com carbonado de sódio à concentração de 10/oo)
4. E₁ S₂ C₂ (solo úmido tratado com carbonato de sódio à concentração de 30/oo)
5. E₁ S₃ C₂ (solo úmido tratado com metassilicato de sódio à concentração de 30/oo)
6. E₁ S₃ C₃ (solo úmido tratado com metassilicato de sódio à concentração de 50/oo)

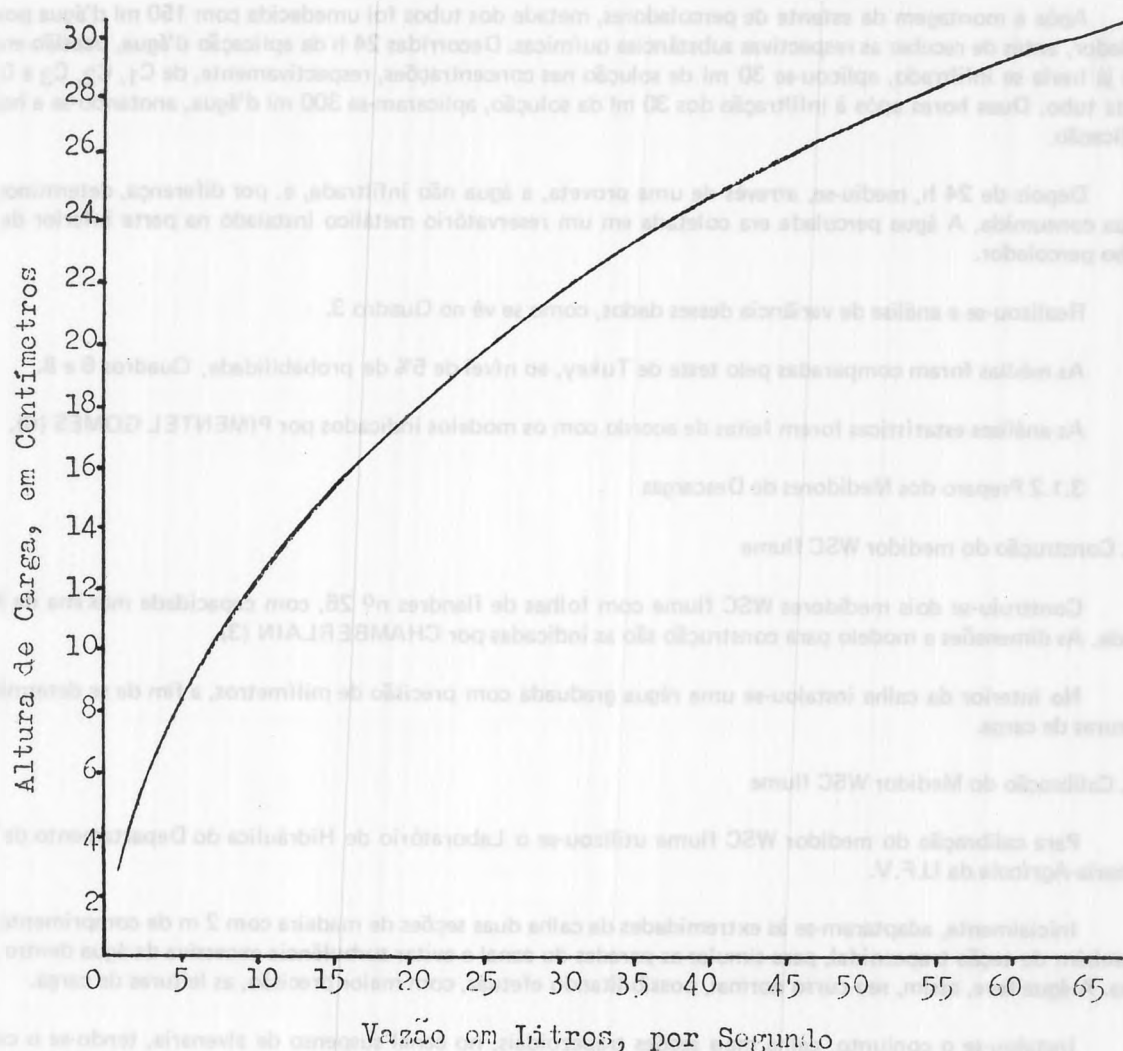


FIGURA 1 – Curva de Calibração: Altura de Carga Versus Vazão para o “WSC-Flume”.

7. E₁ SO CO (solo úmido não tratado).

O delineamento experimental empregado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, sendo que cada parcela foi constituída de um canal.

3.2.1. Construção dos Canais

Foram construídos 28 canais de seções iguais às das extremidades da calha, cuja área molhada é de 0,15 m², comprimento de 60 m e declividade de 20‰.

A fim de se manter os taludes com a inclinação desejada, tornou-se necessário fazer uma ligeira compactação dos mesmos, assim como do fundo do canal.

3.2.2. Instalação das Calhas

As calhas foram instaladas nas extremidades de cada canal a uma distância de 50 m entre elas. Essas calhas destinaram-se a medir a quantidade d’água que entrava e saía dos canais. Para uma adequada instalação das calhas, teve-se o cuidado de nivelá-las, tanto no sentido do longitudinal como no transversal do canal, assegurando as características do fluxo d’água nas calhas.

3.2.3. Aplicação das Substâncias Químicas e da Água

Cada canal foi umedecido para assegurar a condição de laboratório, quando da seleção das concentrações dos referidos tratamentos. Utilizou-se um regador de crivo fino, a fim de conseguir-se a mais adequada homogeneização na distribuição das soluções, tanto no fundo quanto nos taludes dos canais.

Decorridas 2 h da completa infiltração da solução no canal, aplicou-se a água que foi extraída, por bombeamento, de uma represa.

3.2.4. Medição das Descargas e Duração do Ensaio

A água bombeada foi aplicada na extremidade do canal, 5 m a montante da primeira calha, passando, antes de a atingir, por um tranquilizador do fluxo que fora convenientemente instalado.

Regulou-se o bombeamento para uma altura de lâmina d'água na primeira calha de 21,0 cm, correspondente a uma vazão de 28,5 l/s.

Iniciou-se a cronometragem do tempo quando a frente de avanço do fluxo no canal atingira a segunda calha.

A partir desse instante, fez-se as leituras da alturas da lâmina d'água, nas régua das duas calhas, a cada cinco minutos.

A altura da lâmina d'água na primeira calha permaneceu constante durante o ensaio, cuja duração estava em função do tempo necessário para se atingir uma altura de lâmina, também constante, na segunda calha. Por diferença determinou-se a quantidade d'água perdida por infiltração ao longo de cada canal.

Realizou-se a análise de variância desses dados, conforme o Quadro 9.

As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, Quadro 10.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão discutidos os dados referentes aos ensaios de laboratório e de campo, com o que se propôs indicar as melhores substâncias, com suas respectivas concentrações, utilizadas como impermeabilizantes de canais de terra.

4.1. Ensaio de Laboratório

A análise de variância, conforme Quadro 3, para a água infiltrada em m1/24 h, mostra que o F para os fatores concentração (C), substância (S) e para as interações (CxS), (CxS), (SxE) e (CxSxE), é significativo ao nível de 1% de probabilidade. Não ocorrendo, no entanto, diferença significativa, mesmo ao nível de 5% de probabilidade, para o fator estado de umidade do solo (E). Esse resultado não concorda com o obtido por DUARTE (4), que, usando método semelhante, alcançou maior eficiência para o NaOH, com o solo previamente umedecido. É provável que as diferenças observadas sejam devidas a baixa percentagem de argila do solo e as diferentes concentrações.

Em vista da interação (CxSxE) apresentar-se estatisticamente, significativa ao nível de 1% de probabilidade, estudou-se a influência dos níveis de um fator fixando os outros dois.

A análise de variância, quando se estudou o fator estado de umidade do solo, dentro de cada substância e cada concentração, conforme o Quadro 4, mostra haver diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade, para o fator estado de umidade do solo dentro do Na_2CO_3 à concentração de 10‰ e Na_2SiO_3 às concentrações de 1 e 70‰, respectivamente, e ao nível de 5% de probabilidade, para o Na_2CO_3 à concentração de 50‰. Não havendo, no entanto, diferença significativa, mesmo ao nível de 5% de probabilidade, para as substâncias NaOH às concentrações de 1, 3, 5 e 70‰; Na_2CO_3 às concentrações de 3 e 70‰; e, Na_2SiO_3 às concentrações de 3 e 50‰.

Como se observa, os resultados encontrados para o NaOH nas quatro concentrações, para o Na_2CO_3 às concentrações de 3 e 70‰ e para o Na_2SiO_3 às concentrações de 3 e 50‰, podem ser usadas indistintamente, independentemente do estado de umidade do solo a ser escolhido. No entanto, ressaltando o direito no uso da concentração que for menos dispendiosa.

De acordo com a análise de variância que estuda o fator concentração, dentro de cada estado de umidade do solo e cada substância, conforme o Quadro 5, mostra ocorrer diferença significativa, ao nível de 1% de probabilidade, para o solo úmido tratado com Na_2SiO_3 e para o solo seco tratado com Na_2CO_3 e Na_2SiO_3 , bem como, diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, para o solo úmido tratado com Na_2CO_3 . Não havendo diferença significativa, mesmo ao nível de 5% de probabilidade, tanto para o solo úmido quanto para o solo seco, quando tratado com o NaOH. Com esse resultado pode-se aplicar o NaOH, tanto no solo úmido como no solo seco, independentemente da concentração a ser usada.

As médias referentes às quantidades d'água infiltrada quando se estudou o fator concentração, dentro de cada estado de umidade do solo e cada substância, conforme Quadro 6, comparadas pelo teste de Tukay, ao nível de 5% de probabilidade, mostram que para o Na_2CO_3 , quando aplicado em solo úmido, a melhor concentração foi a de 10‰, apresentando diferença significativa sobre as demais. As concentrações de 3, 5 e 70‰ se comportaram igualmente. Para o solo seco as concentrações de 3, 5 e 70‰ se comportaram igualmente, que por sua vez quando comparadas com a concentração de 10‰ apresentaram diferenças significativas.

Para o Na_2SiO_3 , quando aplicado em solo úmido, as concentrações de 3, 5 e 70/oo, se comportaram igualmente, diferindo significativamente quando comparadas com a concentração de 10/oo. Quando o Na_2SiO_3 foi aplicado em solo seco, as concentrações de 5 e 70/oo apresentaram-se como as melhores, não havendo diferença significativamente entre elas. Quando comparadas com as concentrações de 1 e 30/oo, ocorreram diferenças significativas. Havendo também diferença significativa entre as concentrações de 1 e 30/oo.

Quando se estudou o fator substância, dentro de cada estado de umidade do solo e cada concentração, conforme análise de variância, Quadro 7, ocorreram diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade, para o fator substância dentro do solo úmido em todas concentrações e dentro do solo seco nas concentrações de 1 e 30/oo. E, ao nível de 5% de probabilidade, na concentração de 50/oo. Já para o fator substância dentro do solo seco na concentração de 70/oo, não houve diferença significativa. As substâncias comportaram-se da mesma maneira dentro do solo seco na concentração de 70/oo. Isto evidencia que no solo seco, à concentração de 70/oo, pode-se usar qualquer uma das três substâncias.

QUADRO 6 — Médias das Quantidades d'Água Infiltrada, em ml/24 h, Quando Estudado o Fator Concentração (C), dentro de Cada Estado (E) e Cada Substância (S), no Ensaio de Laboratório

	E ₁		E ₂	
	S ₂	S ₃	S ₂	S ₃
C ₁	26,66 a	153,33 a	131,66 a	106,66 a
C ₂	53,33 b	61,66 b	60,00 b	65,00 b
C ₃	53,33 b	40,00 b	38,33 b	41,66 c
C ₄	50,00 b	56,66 b	11,66 b	25,00 c

As médias dentro das colunas, seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 7 — Análise de Variância para o Fator Substância (S) dentro de Cada Estado (E) e Cada Concentração (C) para a Água Infiltrada em ml/24 h, no Ensaio de Laboratório

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F
S d. E ₁ C ₁	2	33405,56	16702,78	115,54 **
S d. E ₁ C ₂	2	3438,89	1719,44	11,89 **
S d. E ₁ C ₃	2	2488,89	1244,44	8,60 **
S d. E ₁ C ₄	2	3538,89	1769,44	12,24 **
S d. E ₂ C ₁	2	17438,89	8719,44	60,31 **
S d. E ₂ C ₂	2	4550,00	2275,00	15,73 **
S d. E ₂ C ₃	2	1266,66	633,33	4,38 *
S d. E ₂ C ₄	2	866,66	433,33	2,99 NS
Erro	46	6649,88	144,56	

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

NS Não significativo.

As médias referentes às quantidades d'água infiltrada, quando se estudou o fator substância, dentro de cada estado de umidade do solo e cada concentração, mostradas no Quadro 8, quando comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, evidenciam que, para o solo úmido à concentração de 10/oo, as substâncias NaOH e Na₂CO₃ não diferiram estatisticamente, mas foram significativamente diferentes da substância Na₂SiO₃. Sendo que as duas primeiras substâncias são as melhores em virtude de proporcionarem menores perdas d'água.

As substâncias Na₂SiO₃, no solo úmido e nas concentrações de 3, 5 e 70/oo, são estatisticamente iguais, mas diferem de NaOH. Sendo que a melhor substância é o NaOH, porque proporciona melhor impermeabilização do solo.

A substância NaOH, no solo, foi estatisticamente diferente das Na₂SiO₃ nas concentrações de 3, 5 e 70/oo. As substâncias Na₂CO₃ e Na₂SiO₃ foram significativamente diferentes na concentração de 10/oo, tendo comportamento idêntico nas concentrações de 3 e 50/oo. Neste caso, o NaOH foi também a melhor substância.

A manipulação dos dados obtidos em laboratório, Quadro 1 (Apêndice A), mostra, conforme discussão anterior, que o NaOH, nas quatro concentrações usadas, foi a substância que melhor se comportou, seguida, respectivamente, pelo Na₂CO₃ e Na₂SiO₃, tanto no solo úmido quanto no solo seco. Verificou-se, também, que a percolação decresce com o acréscimo da concentração, tanto do NaOH quanto do Na₂SiO₃, para os solos úmidos e secos, porém para o Na₂CO₃ não se observou tal decréscimo para o solo úmido.

Apesar de em determinadas interações, em que o estado de umidade do solo se fez presente, ocorrer diferenças significativas, achou-se por bem usar, no ensaio de campo, solo úmido, devido, não somente, à praticabilidade de operação, mas também ao resultado da análise de variância (Quadro 3), que mostra não ter ocorrido diferença significativa para o fator estado.

Na escolha das concentrações, selecionou-se para cada substância as duas que melhor se destacaram, tanto como impermeabilizantes quanto menos dispendiosa.

Assim, se levou para o campo as três substâncias nas concentrações:

- 1) NaOH às concentrações de 1 e 30/oo
- 2) Na₂CO₃ às concentrações de 1 e 30/oo
- 3) Na₂SiO₃ às concentrações de 3 e 50/oo

4.2. Ensaio de Campo

A análise de variância dos dados referentes à água infiltrada nos canais, conforme Quadro 9, após receberem as aplicações com as substâncias químicas nas respectivas concentrações, mostra que o F para tratamentos é significativo ao nível de 1% de probabilidade.

As médias das quantidades d'água infiltrada ao longo dos canais de terra, conforme Quadro 10, mostram que houve reduções bastante acentuadas das perdas d'água por infiltração, quando se compara o tratamento E₁ S₀ C₀ com os demais.

A substância NaOH na concentração de 30/oo, quando comparada com o Na₂SiO₃ às concentrações de 3 e 50/oo, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, apresentou diferenças significativas.

QUADRO 9 – Análise de Variância das Perdas d'Água por Infiltração em 1/s, no Ensaio de Campo

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	
Blocos	3	0,61		
Tratamentos	6	61,07	10,17	101,96 **
Erro	13	1,79	0,09	
TOTAL	27	63,47		

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade.
C. V. = 11,50%.

QUADRO 10 – Médias das Quantidades d'Água Infiltrada em 1/s, no Ensaio de Campo

Tratamentos	Perdas d'Água em 1/s
E ₁ S ₀ C ₀	6,25 a
E ₁ S ₃ C ₂	2,75 b
E ₁ S ₃ C ₃	2,50 bc
E ₁ S ₂ C ₁	2,25 bed
E ₁ S ₂ C ₂	2,02 bcd
E ₁ S ₁ C ₁	1,92 cd
E ₁ S ₁ C ₂	1,52 d

As médias, seguidas pela mesma letra, não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

A testemunha, tratamento, que não recebeu aplicação química, diferiu significativamente dos demais tratamentos. O que reflete a influência do emprego das substâncias químicas como impermeabilizantes às concentrações selecionadas para o solo estudado, acarretando, desse modo, a obstrução parcial dos poros proporcionando uma considerável redução das perdas d'água por infiltração.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Hidráulica da Universidade Federal de Viçosa e na Fazenda Paraíso, em Viçosa, MG, em solo Podzólico Vermelho Amarelo Câmbico, fase terraço.

Este trabalho teve como objetivo testar, inicialmente, as substâncias e selecionar, em laboratório, as concentrações dos impermeabilizantes químicos mais eficientes, quando aplicadas em solo seco ou previamente umedecido. E determinar a redução das perdas advindas da infiltração d'água em canais de terra, quando tratados com substâncias químicas.

Usou-se, no laboratório, o hidróxido de sódio (NaOH), o carbonato de sódio (Na₂CO₃) e o metassilicato de sódio (Na₂SiO₃) às concentrações de 1º/oo, 3º/oo, 5º/oo e 7º/oo, tendo sido apontadas, para serem usadas no campo, os grupos de duas concentrações, por substância, mais eficiente como impermeabilizante.

No ensaio de campo, testou-se o NaOH e Na₂CO₃, ambos as concentrações de 1º/oo e 3º/oo, e o Na₂SiO₃, as concentrações de 3º/oo e 5º/oo.

Mediante os resultados obtidos, permitiu-se chegar as seguintes conclusões:

1. Dos resultados encontrados em laboratório para o NaOH, nas quatro concentrações, o Na₂CO₃ às concentrações de 3 e 7º/oo e para o Na₂SiO₃ às concentrações de 3 e 5º/oo podem ser usadas indistintamente, independentemente do estado de umidade do solo.

2. Entre as substâncias NaOH e Na₂SiO₃ deve-se preferir o NaOH.

3. Em todos canais tratados com as substâncias químicas houve considerável redução nas perdas d'água por infiltração, o que permite recomendar o tratamento dos canais de terra para fins de irrigação com as substâncias químicas empregadas.

4. Ao se utilizar quaisquer das substâncias, usadas no presente trabalho de campo, pode-se optar para a menor concentração, visto não ter ocorrido diferenças significativas entre as concentrações, de uma mesma substância quanto à redução das perdas d'água por infiltração.

5. Deverão ser realizados outros ensaios seqüenciando este trabalho, visando determinar o período de durabilidade das substâncias usadas na impermeabilização de canais de terra para fins de irrigação.

6. Estudos deverão ser feitos com a finalidade de estabelecer a possível toxidez, para plantas advinda do uso de substâncias químicas nos canais de condução d'água.

7. Que em futuros trabalhos seja levado em consideração a percentagem de sódio contido na substância a ser empregada.

6. LITERATURA CITADA

1. BARRETO, G.B. Elementos de irrigação. São Paulo, Editora Agronômica "CERES", 1957. 139 p.

QUADRO 3 — Análise de Variância da Água Infiltrada, em ml/24 h no Ensaio de Laboratório.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F
Blocos	2	1733,33		
Concentração (C)	3	23698,20	7899,42	54,64 **
Substância (S)	2	34543,70	17271,80	119,47 **
Estado (E)	1	100,34	100,34	0,69 NS
Int. CxS	6	13242,30	2207,05	15,26 **
Int. CxE	3	2670,48	890,16	6,15 **
Int. SxE	2	4909,02	2454,51	16,97 **
Int. CxSxE	6	14299,20	2383,21	16,48 **
Erro	46	6649,88	144,56	
TOTAL	71	101846,00		

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

NS Não significativo

C.V. 25,20%

QUADRO 4 – Análise de Variância para o Fator Estado (E), dentro de Cada Substância (S) a Cada Concentração (C), para a Água Infiltrada, em ml/24 h, no Ensaio de Laboratório.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F
E d. S ₁ C ₁	1	66,66	66,66	0,46 NS
E d. S ₁ C ₂	1	4,17	4,17	0,02 NS
E d. S ₁ C ₃	1	4,17	4,17	0,02 NS
E d. S ₁ C ₄	1	66,16	66,16	0,45 NS
E d. S ₂ C ₁	1	16537,50	16537,50	114,39 **
E d. S ₂ C ₂	1	66,67	66,67	0,46 NS
E d. S ₂ C ₃	1	837,50	837,50	5,79 *
E d. S ₂ C ₄	1	104,17	104,17	0,72 NS
E d. S ₃ C ₁	1	3266,66	3266,66	22,59 **
E d. S ₃ C ₂	1	16,67	16,67	0,11 NS
E d. S ₃ C ₃	1	4,17	4,17	0,02 NS
E d. S ₃ C ₄	1	1091,67	1091,67	7,55 **
Erro	46	6649,88	144,56	

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

NS Não significativo.

QUADRO 5 – Análise de Variância para o Fator Concentração (C), dentro de Cada Estado (E) e Cada Substância (S), para a Água Infiltrada, em ml/24 h, no Ensaio de Laboratório.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F
C d. E ₁ S ₁	3	175,00	58,33	0,40 NS
C d. E ₁ S ₂	3	1491,67	497,22	3,43 *
C d. E ₁ S ₃	3	23522,92	7840,97	54,24 **
C d. E ₂ S ₁	3	358,33	119,44	0,82 NS
C d. E ₂ S ₂	3	17072,92	5690,97	39,36 **
C d. E ₂ S ₃	3	11289,58	3763,19	26,03 **
Erro	46	6649,88	144,56	

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

NS Não significativo.

QUADRO 8 – Médias das Quantidades d'Água Infiltrada em ml/24h quando se Estudou o Fator Substâncias (S) dentro de Cada Estado (E) e Cada Concentração (C), no Ensaio de Laboratório

	E_1				E_2		
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_1	C_2	C_3
S_1	21,66 a	16,66 a	13,33 a	11,66 a	28,33 a	15,00 a	15,00 a
S_2	26,66 a	53,33 b	53,33 b	50,00 b	131,66 b	60,00 b	38,33 b
S_3	153,33 b	61,66 b	40,00 b	56,66 b	106,66 c	65,00 b	41,66 b

As médias dentro das colunas, seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

APÊNDICE A

QUADRO 1A – Perdas d'Água por Infiltração das Três Repetições, em ml/24h, no Ensaio de Laboratório.

Tratamentos	Repetições		
	1. ^a	2. ^a	3. ^a
E ₁ S ₁ C ₄	15	10	10
E ₁ S ₁ C ₃	15	15	10
E ₂ S ₁ C ₂	20	15	10
E ₂ S ₁ C ₃	20	15	10
E ₁ S ₁ C ₂	20	15	15
E ₂ S ₁ C ₄	20	20	15
E ₁ S ₁ C ₁	25	20	20
E ₂ S ₃ C ₄	25	30	20
E ₁ S ₂ C ₁	25	30	25
E ₂ S ₁ C ₁	30	30	25
E ₂ S ₂ C ₃	35	45	35
E ₁ S ₃ C ₃	40	45	35
E ₂ S ₂ C ₄	50	40	35
E ₂ S ₃ C ₃	45	40	40
E ₁ S ₂ C ₄	70	40	40
E ₁ S ₂ C ₂	55	55	50
E ₁ S ₂ C ₃	55	55	50
E ₁ S ₃ C ₄	100	35	35
E ₂ S ₂ C ₂	65	65	50
E ₁ S ₃ C ₂	65	65	55
E ₂ S ₃ C ₂	75	65	55
E ₂ S ₃ C ₁	115	105	100
E ₂ S ₂ C ₁	120	180	95
E ₁ S ₃ C ₁	150	150	150

QUADRO 2A – Resultados da Aferição da Calha WSC Flume, nas Três Repetições.

Altura de Carga em cm	Vazão em l/s		
	1. ^a	2. ^a	3. ^a
3	0,64	0,78	0,87
6	2,90	3,11	2,88
9	5,58	5,54	5,75
12	9,66	9,63	9,83
15	15,11	15,09	15,08
18	21,31	21,52	20,21
21	28,50	28,57	28,43
24	36,25	38,18	37,68
27	51,32	48,75	49,20
30	63,35	64,17	62,72

QUADRO 3A – Perdas d'Água por Infiltração das Quatro Repetições em l/s, no Ensaio de Campo.

Tratamento	Repetições			
	1. ^a	2. ^a	3. ^a	4. ^a
E ₁ S ₀ C ₀	6,5	6,0	6,5	6,0
E ₁ S ₃ C ₂	2,5	2,5	3,5	2,5
E ₁ S ₃ C ₃	2,5	2,5	2,5	2,5
E ₁ S ₂ C ₁	2,0	2,0	2,5	2,5
E ₁ S ₂ C ₂	2,1	1,5	2,0	2,5
E ₁ S ₁ C ₁	2,0	2,1	2,1	1,5
E ₁ S ₁ C ₂	1,5	1,1	1,5	2,0

2. BARRETO, G.B.; BERTONI, J.; FOSTER, R. Perdas de terra e água em canais não vegetados. *Bragantia*, São Paulo, 20 (1): 25-8, 1961.
3. CHAMBERLAIN, Adrian R. **Measuring water in small channels with WSC flume**. (S.L.), State College of Washington, 1952, 1952. 9 p. (Stations Circular, 200).
4. DUARTE, Evandro F. Impermeabilização de canais em terra com solução de soda cáustica. *R. Agronomia*, Rio de Janeiro, 19 (3/4): 5-13, 1961.
5. BRASIL, Ministério do Interior — GEIDA. Resumo das principais conclusões. In: ——. **Plano nacional de irrigação; fase I — diagnóstico preliminar**. Rio de Janeiro, 1970. Parte A, p. A1-A6.
6. PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 5. ed. Piracicaba, Nobel, 1973. 430 p.
7. PURI, A.N. Soil permeability. In: ——. **Soils; their physics and chemistry**. New York, Reinhold, 1949. cap. 15, p. 94-9.
8. REGINATO, Robert J.; NAKAYAMA, Francis S. & MILLER, Bennett, B. Reducing seepage from stock tanks with uncompacted sodium treated soils. *Journal of Soil and Water Conservation*, Ankeny, 28 (5): 214-5, 1973.
9. SEWELL, John I. Pond sealing with chemicals in Tennessee. *Journal of Soil and Water Conservation*. Ankeny, 24 (1): 16-8, 1969.
10. ——. Ponds chemically. *Agricultural Engineering*, st. Josph, 48 (5): 270-71, 1967.
11. ——. **Laboratory and field tests of pond sealing by chemical treatment**. Knoxville, Tenn Agricultural Experiment Station, 1968. 25 p. (Bull. 437).
12. WICKLINE, E. V. Common chemical helps seal leaky ponds. *Journal of Soil and Water Conservation*, Ankeny, 13 (3): 128-9, 1958.
13. ZIEROLD REYS, L. Canales de tierra y canales revestidos. *Ingeniería Hidráulica en Mexico*, Mexico (D.F.), 18 (1/2): 112-21, 1964.

REVESTIMIENTO DE CANALES CON MATERIALES NO TRADICIONALES

Raúl Ricardo Gallardo*

I – INTRODUCCION

La escasez mundial de agua dulce obliga a impedir su derroche; aumentar el rendimiento de las obras y los sistemas es una de las grandes responsabilidades de la Ingeniería actual.

Las conducciones de agua para riego excavadas directamente en los suelos que atraviesan, suelen muchas veces ser el recurso primario a que apelan las comunidades cuando no disponen de los medios necesarios para una inversión inicial adecuada, y casi siempre, cuando un análisis superficial no ha permitido "ver" a quienes tienen la decisión de la obra, el "pésimo negocio" que resulta con el tiempo la ejecución de canales sin revestir. En esos casos, del total de agua derivada para satisfacer las necesidades de los cultivos a implantar, sólo una pequeña proporción que difícilmente supera el 25%, llega a cubrir el requerimiento de los vegetales.

De todas las PERDIDAS que se registran en una Red de Riego, por: conducción, distribución, derrames, percolación profunda, evaporación y por métodos inadecuados de aplicación o descuido en los riegos de las granjas, LAS PERDIDAS MAS IMPORTANTES TIENEN SU ORIGEN EN LA INFILTRACION DEL AGUA CONDUCTA por los canales carentes de revestimiento. Es necesario entonces tomar conciencia de la necesidad de reducirlas.

Los principales factores que influyen sobre la importancia de las pérdidas en canales sin revestir, son:

- 1) Características texturales de los suelos que atraviesan y conforman la "caja".
- 2) Naturaleza y proporción del material en suspensión que conduce el agua; edad del canal.
- 3) Perímetro mojado.
- 4) Tirante medio normal del canal.
- 5) Altura relativa de la rasante del canal con respecto a la capa freática.
- 6) Velocidad de escurrimiento del agua.
- 7) Temperatura del agua.
- 8) Presencia de maleza acuática dentro del canal o vegetación en taludes exteriores y banquetas.

Siendo la EFICIENCIA de un sistema de riego, el cociente entre el caudal realmente aplicado a los cultivos y el caudal bruto derivado, todo ahorro de agua aumenta este rendimiento, gravitando en la evaluación económica del revestimiento de un canal.

La reducción de las pérdidas por infiltración tienen efecto directo sobre:

- a) el aumento de superficie regable, que puede llegar a duplicarse, factor de importancia capital cuando la fuente de agua es escasa;
- b) la reducción de las redes de drenaje necesarias para mantener la capa freática a niveles compatibles con los cultivos. Reduce causas de salinización.

Además, según el tipo de revestimiento adoptado, puede permitir:

- Aumentar las velocidades de conducción, posibilitando mayores pendientes, reducción de longitudes de canal y reducción de embanques.
- Reducción de secciones de escurrimiento, con lo que se disminuye el movimiento de suelos en excavaciones y terraplenes; reducción de dimensiones de obras de arte.

* Ingº Jefe Sector Irrigación de Agua y Energía Eléctrica.

— Control del crecimiento de maleza acuática que hace insuficientes las secciones de proyecto, aumenta el costo de mantenimiento y las pérdidas de agua por infiltración y evapotranspiración.

La medida de la justificación económica del revestimiento de un canal, resulta de la diferencia de "Costo anual" (Ca) que puede establecerse comparando por un lado la amortización (Aa) y los intereses anuales (Ia) del costo de la estructura, y por el otro, el costo que significan las pérdidas de agua (CPa), más la economía de costo de conservación por efecto del revestimiento (ECC):

$$Ca = (CPa + ECC) - (Aa + Ia)$$

Numerosos trabajos reflejan el creciente esfuerzo humano por mejorar la eficiencia de las conducciones de agua, desde los antiguos revestimientos en piedra de las civilizaciones precolombinas hasta los modernos equipos guiados automáticamente para la colocación continua de revestimientos de hormigón, pasando por los procedimientos de reducción de pérdidas por infiltración mediante colmatación artificial.

El presente trabajo, que reviste el carácter de comunicación, tiene por objeto simplemente poner en conocimiento de los colegas, las obras ejecutadas en la Argentina en los últimos años por la Empresa Nacional AGUA Y ENERGIA ELECTRICA, con materiales **no tradicionales**, en la búsqueda de revestimientos de menor costo y mejor comportamiento, ante condiciones especiales.

II – LOCALIZACION Y CARACTERISTICAS GENERALES

Los revestimientos que se mencionarán, tuvieron lugar sobre canales de gran dimensión, pertenecientes a dos sistemas de riego distintos, en la provincia de Rio Negro (Rep. Argentina).

1) **CANAL MATRIZ SUD del SISTEMA CHOELE CHOEL.** — Conduce agua del Rio Negro para regar aproximadamente 70.000 Has, previo paso por la Central Hidroeléctrica Ing. Céspedes. Está construido en tierra y funciona desde 1962. Proyectoado para conducir 70 m³/seg, su sección tiene 15m de solera y tirante medio de 3,5 m. Taludes 1:1,5. La pendiente longitudinal es muy escasa: $i = 0,00009$. Desde su habilitación comenzaron a producirse serias pérdidas por filtración, las que afectaron gran parte de un valle de 5000 Has regables adyacentes a su margen izquierda. (Sobreelevación) de la capa freática, salinización de grandes superficies, cambio de calidad del agua freática, anegamiento de bajos).

En búsqueda de una solución para los 33 kilómetros del Canal Matriz Sud, se decidió en 1970/71 ejecutar, a manera de ensayo, cuatro tipos de revestimientos distintos, en un tramo de 5 km, entre progresivas Km 17 a km 22.

- 1.a) Impermeabilización con membrana plástica protegida
- 1.b) Impermeabilización con membrana asfáltica protegida.
- 1.c) Revestimiento con concreto asfáltico expuesto

- 1.d) Revestimiento con suelo-cemento plástico.

Este último revestimiento fue suprimido y reemplazado durante la construcción, por no encontrarse condiciones favorables para adecuada preparación de la sub-rasante.

2) **CANAL PRINCIPAL del SISTEMA RIO COLORADO** — Nace en la Presa Derivadora de Salto Andersen, sobre el Rio Colorado. Proyectoado para conducir 20 m³/seg. Construido en tierra, aun no habilitado definitivamente. Su solera es de 10m y el tirante de 2m. Taludes 1:1,5. Pendiente longitudinal $i = 0,0002$. Con los escurrimientos de prueba se evidenciaron socavaciones en la solera (suelos colapsibles), deslizamientos en algunos tramos de los taludes y principios de pérdidas por filtración.

Para solucionar estos defectos se decidió, en 1972/73, el revestimiento de los primeros 28 km, donde el canal estaba más afectado por haber sido construido en terraplén. El revestimiento adoptado fue Concreto Asfáltico expuesto.

III – DETALLES Y CARACTERISTICAS de los DISTINTOS TIPOS de REVESTIMIENTOS

1) MEMBRANA PLASTICA PROTEGIDA

Este revestimiento consiste en una membrana plástica, que puede ser de Polietileno o de Cloruro de Polivinilo (P.V.C.) extendida sobre la sección que se desea impermeabilizar, cubriéndose luego con materiales de protección.

El uso de membranas plásticas está subordinado a la obtención del adecuado material de protección, debiendo a su vez el diseño cumplir ciertos requisitos:

a) la pendiente longitudinal debe ser tal que la velocidad de escurrimiento no alcance a los valores que producirían arrastre del material de cobertura.

b) Los taludes de la sección deben ser lo suficientemente tendidos como para asegurar la estabilidad del material de protección.

Elección de la membrana. — Siendo ambas membranas igualmente aptas para su función, mientras cumplan con las propiedades físicas requeridas por pliego (ver Anexo I), en nuestro caso se adoptó el uso de láminas de polietileno de 250 micrones, pigmentada de negro, no obstante presentar el PVC ciertas ventajas mecánicas, porque se consideraron de mayor peso las siguientes razones:

a) El costo del polietileno resultaba un 50% menor que el del PVC.

b) Las láminas de polietileno se fabrican en anchos de 6m, mientras que las de PVC en anchos de 1,20m. Esto significaba una mayor cantidad de juntas para ejecutar en el terreno, o la necesidad de realizar cuatro costuras longitudinales en fábrica, para lograr con el PVC un ancho similar al del polietileno.

c) El polietileno se suministraba prácticamente sin demoras.

Estos factores de decisión pueden ser diferentes en otro caso razón por la que se recomienda siempre una previa evaluación de ventajas y desventajas.

Preparación de la base de apoyo en solera y taludes. — Se comenzó por reconstruir la sección o caja del canal, tendiendo los taludes a pendientes 1:2 y sobreexcavando la solera y taludes en relación con la sección de proyecto terminado, en un espesor igual al que llevaría el recubrimiento de protección. Las exigencias de preparación de la superficie sobre la que se colocará la membrana plástica, son menores que para cualquier otro tipo de revestimiento. Basta que no presente piedras con punta o cantos filosos, en cuyo caso hay que removerlas, reemplazando con arena y grava fina y compactando luego. A fin de adecuar mejor todo el terreno de base, se procedió a compactar suavemente solera y taludes con varias pasadas de rodillo, antes de colocar la lámina plástica.

Colocación. — Preparada la sub-base, se extendió sobre ella la lámina de polietileno. Los rollos en que llegó el material a la obra, se colocaron en la banquina cada 6 metros, y con la ayuda de un par de sogas se deslizaron simplemente por el talud y solera, y subieron por el talud opuesto. La longitud estaba preparada para cubrir exactamente toda la sección transversal, quedando la película plástica floja para que pudiera acomodarse a la base, sin tensar.

Para canales menores sería conveniente extender el plástico en forma longitudinal.

Desplegada la lámina, se mantuvo en su lugar con la ayuda de objetos pesados (cubiertas de auto en desuso o bolsas con arena). La unión o junta de empalme de dos láminas adyacentes, se realizó en forma sencilla y rápida superponiendo un pliego con otro en una banda de 5 cm como mínimo, la que plegada sobre sí misma se cosió con brochas metálicas.

Los extremos de la lámina se anclaron enterrándolos en una zanja, a 70 cm por encima del máximo nivel de agua.

Cobertura. — Es indispensable para proteger a la membrana de la acción agresiva de elementos flotantes, animales que eventualmente entraran en el canal, equipos mecánicos, y sobre todo para evitar la acción de los rayos solares sobre el plástico, que le hacen sus cualidades.

Los requerimientos granulométricos exigidos para el material de cobertura, se especifican en el anexo II, destacándose que el coeficiente de uniformidad $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que 4 garantiza la permeabilidad de las capas de cobertura, evitando su deslizamiento por variaciones de nivel de agua.

Extraído el material adecuado de yacimientos cercanos al canal, se colocó en la solera con camiones volcadores, se distribuyó por la misma con un tractor con topadora y se levantó de la misma manera por los taludes, sin problemas ni punzonaduras.

El espesor adoptado para el material de cobertura fue de 40cm en solera y 50cm en taludes.

La compactación del material colocado sobre la solera se logró con la sola circulación del equipo. En los taludes, se emparejó con una cadena pesada, se dió un riego, y se compactó con rodillo neumático que se subía y bajaba desde la banquina, en sentido transversal al eje del canal.

2) MEMBRANA ASFALTICA PROTEGIDA.

Consiste en una membrana de material asfáltico especial, de pocos milímetros de espesor, impermeable al

agua, regada sobre una sub-base previamente preparada, y cubierta con una capa protectora de materiales inertes.

El éxito de este revestimiento depende no solo de un buen diseño, sino fundamentalmente de una cuidadosa construcción y del adecuado mantenimiento de la cubierta protectora.

Las exigencias tanto para la sub-base como para las condiciones climáticas de ejecución no son rigurosas, y un simple equipo de construcción vial, con pequeñas adaptaciones, permite ejecutarlo.

Diseño — Para que no ocurran deslizamientos del material de cobertura, los taludes se tendieron con pendiente 1:2. La velocidad admisible para el agua es tal que no provoque erosión del recubrimiento.

Preparación de la base de apoyo. — Reconstruida la sección con la sobre-excavación necesaria para dar cabida a la capa de cobertura, se preparó una superficie de apoyo relativamente lisa mediante el paso de una rastra liviana y rodillo.

Aunque el grado de compactación de la sub-base no tiene importancia de la exigida para revestimientos rígidos, es aconsejable una compactación que permita lograr una densidad equivalente al 94% de la del Ensayo Proctor Standard.

En terrenos ásperos o con rocas fracturadas y ángulos agudos, se exigió un almohadillado de arena fina y suelo como apoyo de la membrana, de espesor no menor de 7 cm.

Como condición previa a la aplicación del asfalto de la membrana, se aplicó en taludes y solera del canal un herbicida de acción total basado en arseniato sódico, diluido en agua en proporción 1:60. Actúa por contacto e impide el crecimiento de maleza desde la base, que podría perforar la membrana.

Colocación de la membrana. — Se utilizó una membrana asfáltica constituida por asfaltos especiales, comercialmente denominado Asfalto Plástico Nº 1, preparado por Yacimientos Petrolíferos Fiscales con ajuste a las normas A.S.T.M. que figuran en el ANEXO III.

El asfalto se pulveriza en caliente, a alta temperatura (200°C), sobre la superficie preparada, y a una presión de alrededor de 1,8 kg/cm², a través de barras y picos de pulverización montados en un distribuidor.

El mayor problema estriba en la exigencia del transporte del material asfáltico en caliente. Desde las refinerías hasta el punto de utilización distante 1000 km, el producto debió ser transportado en camiones termo a 180°C y descargado en tanques de almacenamiento instalados en el obrador, provistos de un sistema de calefacción.

La otra exigencia surge de la necesidad de extremar los cuidados de aplicación del asfalto. Una excesiva presión en los picos de riego o una reducida altura sobre la superficie, provoca el levantamiento del material fino de la sub-base, el que se mezcla con el asfalto y disminuye la calidad de la membrana. La altura adecuada de los picos es de 40 cm sobre la superficie de aplicación, en nuestro caso. Los picos están colocados sobre barras montadas en un camión distribuidor, como ya se mencionó. Para lograr un espesor uniforme de la membrana (6 a 7 mm, es decir de 6 a 7 litros/m² medidos a 15°C) hubo que regular la velocidad del camión regador de manera de distribuir por pasada unos 2 litros/m². De esta manera, con 3 pasadas sobre taludes y por lo menos 2 pasadas sobre solera, se logró el perfecto espesor y recubrimiento. El número de riegos requeridos para obtener el espesor fijado, se debe efectuar siempre dentro de una misma jornada de trabajo.

Debe asegurarse la más perfecta unión entre el riego inferior del talud y el riego adyacente de la solera, así como entre franjas de riego adyacentes. El solapado se estimó no mayor de 50 cm para mantener uniforme el espesor de la membrana.

Capa protectora. — Está constituida generalmente por materiales inertes de obtención local: arena, canto rodado, etc. En el canal de Choele Choel se usó el mismo material que para la membrana plástica (Anexo III).

Se colocó primero en la solera, sobre la membrana de asfalto, y luego cuidadosamente se fueron cubriendo los taludes, distribuyendo el material mediante topadora en el piso y con una cadena en los taludes.

La calidad de la capa protectora puede ser mejorada por compactación, cuidando en este caso, iniciada solo cuando se ha colocado suficiente cantidad de material de cobertura para proteger la membrana.

El espesor mínimo de la capa de protección, se fijó mediante la fórmula $t = 25 \text{ cm} + d/12$, donde "d" es el tirante de agua expresado en centímetros.

3) CONCRETO ASFÁLTICO

Este revestimiento está formado por una capa de concreto asfáltico de 7,5 cm de espesor. La mezcla está compuesta de agregado grueso, agregado fino y relleno mineral, combinados para obtener una determinada granu-

lometría, la que se mezcla en caliente con el agregado de cemento asfáltico. El concreto asfáltico elaborado en caliente para revestimiento de canales, se proyecta impermeable al agua proporcionando un mayor contenido de cemento asfáltico (7 a 10% en peso), que el utilizado para construcción de pavimentos.

Tareas previas. — Sobre los taludes y fondo del canal, previamente acondicionados y compactados (densidad equivalente por lo menos al 94% del Proctor Standard), se aplicó material bituminoso imprimador tipo EM-1 de YPF. Antes de la imprimación deberá procederse al barrido y soplado de la sección, debiendo efectuarse indefectiblemente el riego con un herbicida de acción total. Cumplida esta tarea, se delimitaron perfectamente las zonas para que no haya superposiciones en la aplicación, y se comenzó el riego de imprimación, controlando previamente el funcionamiento de los picos regadores debidamente calibrados, y regulando la velocidad constante del camión distribuidor para obter un riego unitario uniforme.

Aplicación del revestimiento. — Preparada la mezcla bituminosa (las características de los materiales usados se detallan en el Anexo IV), se efectuó un riego de liga con material bituminoso 50-60 ó 70-100. Para este riego de liga la temperatura ambiente debe ser superior a 80°C a la sombra, en ascenso.

Sobre ésto se coloca la mezcla bituminosa preparada en cantidad tal que después de compactada produzca un revestimiento del espesor indicado en el proyecto. La distribución de la mezcla se efectua por medio de máquinas terminadoras del tipo de las empleadas en construcciones viales.

Luego se procedió al cilindrado de la mezcla bituminosa, que debe ser completa y uniformemente compactada con aplanadoras mecánicas del tipo "tandem" y peso variable entre 5 y 8 toneladas. El cilindrado es longitudinal, comenzando de los bordes hacia el centro en la solera. En los taludes, el cilindrado se hizo de abajo hacia arriba. El cilindrado se continua hasta que las marcas de la aplanadora sean eliminadas y la cubierta quede completamente compacta y lisa. El cilindrado mecánico se completa con 3 a 8 pasadas de rodillo neumático.

Terminado el cilindrado, se dió un riego de cobertura con cemento asfáltico de penetración 50-60, si bien esto no es imprescindible.

Pasado el intervalo mínimo de 24 horas, se llenó el canal con agua, reservandose para aceptar el trabajo un plazo de tres meses durante los cuales se observó cuidadosamente el comportamiento del revestimiento para detectar posibles fallas.

Para la aceptación del espesor resultante, al finalizar la compactación, se determinó el valor promedio de cinco perforaciones alternadas por cada 8000m² de revestimiento. Este valor promedio no debería diferir en más de un 10% del espesor fijado de proyecto.

En cuanto a la compactación, y debido la conveniencia de obtener altas densidades, se deben especificar densidades promedio mayores de 94 a 96% de la densidad standard de laboratorio.

ANEXO I

a) Propiedades físicas exigidas para membranas de PVC:

1 — Espesor en micrones.	250 + 25
2 — Resistencia a la tracción, ambas direcciones, mínimo	2.0 psi
3 — En juntas cementadas mínimo	1.5 psi
4 — Alargamiento al fallar, mínimo.	250%
5 — Extracción de agua, peso perdido máximo	1%
6 — Resistencia Elmendorf, promedio 160gr/0.025mm	
7 — Impacto a baja temperatura — 17°C: pueden fallar no mas de dos probetas entre 10	

Todos los ensayos se refieren a la norma ASTM

b) Propiedades físicas exigidas para membranas de Polietileno:

1 — Espesor en micrones.	250 + 50
2 — Resistencia a la tracción a lo largo mínimo	1.7 psi
3 — Alargamiento al fallar a lo largo mínimo.	225%
Idem a lo ancho, mínimo	350%
4 — Resistencia al impacto mínimo.	500gr
5 — Transmitencia luminosa, máximo	1%
6 — Transmisión de vapor de agua, gramos por cada 100 pulgadas cuadradas, máx.	1.4
7 — Resistencia Elmendorf promedio mín.	100gr/0.025mm

ANEXO II

Granulimetría del material de cobertura:								
Tamiz	3	pulgadas	pasa	en peso	entre	90	y	100%
Tamiz	11/2	pulgadas	pasa	en peso	entre	75	y	100%
Tamiz	3/4	pulgadas	pasa	en peso	entre	60	y	100%
Tamiz	3/8	pulgadas	pasa	en peso	entre	45	y	100%
Tamiz	4	pulgadas	pasa	en peso	entre	30	y	85%
Tamiz	8	pulgadas	pasa	en peso	entre	20	y	70%
Tamiz	16	pulgadas	pasa	en peso	entre	10	y	55%
Tamiz	40	pulgadas	pasa	en peso	entre	5	y	30%
Tamiz	100	pulgadas	pasa	en peso	entre	5	y	15%
Tamiz	200	pulgadas	pasa	en peso	entre	0	y	10%

ANEXO III

Requisitos a cumplir por el asfalto para la membrana:

Materiales. — Los materiales deberán ser asfaltos preparados por tratamiento soplado catalítico. No serán aceptados materiales asfálticos en los que se usen compuestos del hierro como catalizador.

Requisito general — El asfalto debe ser homogéneo, libre de agua, y no debe hacer espuma cuando se lo calienta a 175°C.

Características.

Grado de penetración	50-60
Punto de inflamación (C.O.C.) no menos que:	218°C
Punto de ablandamiento:	79°C — 93°C
Penetración a 25°C, 100gr, 5 seg no menos que:	50-60
Penetración a 0°C, 200gr, 60 seg no más de:	30
Penetración a 46°C, 50gr, 5 seg. no mas de:	120
Ductilidad a 25°C, 5cm por minuto, no menos que:	3.5cm
Pérdida a 162°C, 5 horas, no mas de:	1%
Penetración de residuo a 25°C, 100gr. segundos comparada con la penetración antes de calentar, no menos que:	60%
Bitúmen (soluble en tetracloruro de C, no menos que:	97%

ANEXO IV

Características de los materiales para preparar la mezcla bituminosa:

a) Agregado grueso.

- 1) Se entiende como agregado grueso la fracción del agregado pétreo retenida por el tamiz N° 4.
- 2) Como agregado pétreo se utilizará grava y/o piedra triturada de canto o roca sana proveniente de yacimientos cercanos y de calidad apropiada.
- 3) El agregado grueso tendrá sus partículas en su mayoría limpias o ligeramente recubiertas por material calcáreo. Serán duras, sanas y libres de una cantidad perjudicial de arcilla.
- 4) El agregado grueso deberá proveerse como la fracción gruesa del ripio limoso de los yacimientos elegidos, retenida totalmente por la criba de abertura cuadrada de 1/4 de pulgada.
- 5) El desgaste Los Angeles medido según normas del ensayo A.A. S.H.O.T. 96-60, granulometría "B", no será superior a 35.
- 6) El factor de cubicidad no será superior a 0,50.

b) Agregado fino.

- 1) Entiéndese como agregado pétreo fino la fracción del agregado pétreo que pasa por el tamiz N° 4 y es retenida por el tamiz N° 200.
- 2) El agregado fino proveniente de las ripieras aprobadas por la Inspección, deberá ser provisto por separa-

do, es decir que no se permitirá acopiarlo en planta como fracción del ripio total.

c) Relleno mineral.

Como relleno mineral (filler) se utilizará cal hidratada o filler calcáreo, que cumplirá las siguientes condiciones:

1) Estará seca y libre de grumos y terrones.

2) Su composición estará dentro de:

Insoluble	Máximo	2%
Oxido de magnesio	Máximo	5%
Anhídrido carbónico	máximo	15%
Si O ₂ + R ₂ + O ₃	máximo	0,1%
0 Ca + 0 Mg		

Mezcla de los agregados y relleno mineral:

1) Los agregados grueso, fino y relleno mineral que componen la mezcla en seco deberán ser combinados en tal forma que los porcentajes en peso que pasan por las cribas de abertura cuadrada y tamices standard estén comprendidos dentro de los límites granulométricos dados a continuación:

Ensayos A.A.S.H.O.T. 11-60 y T 27-60

1"	100%
3/4"	100%
1/2"	85-95%
tamiz 4	45-70%
tamiz 10	40-60%
tamiz 40	35-50%
tamiz 200	5-15%

2) La cantidad total de material que pasa por el tamiz No 200 será determinada por vía húmeda y no menos de la mitad de lo que pasa por el tamizado húmedo, deberá pasar por el tamizado seco.

3) La mezcla asfáltica preparada con el inerte especificado anteriormente y el ligante estipulado a continuación, ensayada de acuerdo al método de Marshall con una compactación de 35 golpes por cara cumplirá con las exigencias siguientes:

Estabilidad mínima	350 kg
Fluencia	2,5 a 5,0 mm
Vaciós.	0% a 2,5%

4) La fracción del agregado pétreo que pasa por el tamiz N° 80, tenderá índice de plasticidad cero (0).

5) El contenido de humedad en la mezcla en seco de los agregados será inferior al medio por ciento (0,5%) una vez que han pasado por el dispositivo secador.

d) Cemento asfáltico para la mezcla asfáltica

En la mezcla asfáltica se empleará el de penetración 50-60. En este caso será homogéneo, libre de agua y no formará espuma al ser calentado a 170°C.

Cumplirán con las siguientes exigencias el ser ensayados de acuerdo con los métodos dados en esta especificación:

ENSAYOS	TIPO II 50 – 60		TIPO IV 70 – 100		METODO DE ENSAYO
	min.	max.	min.	max.	
Penetración (25°C 100g 5s)	50	60	70	100	Iram 6576
Peso específico rel. a 25/25°C	1,000	—	0,995	—	Iram 6587
Ductilidad (25°C 5cm/min(cm)	100	—	100	—	Iram 6579
Punto de inflamación (Cleveland va) °C	250	—	230	—	Iram 6555
Ensayo en película delgada. Pérdida por calentamiento a 163°C durante 5 h (%)	—	1	—	1	G -3/4
Penetración (25°C 100g 5s), % original	50	—	50	—	Iram 6576
Ductilidad del residuo a 25°C 5cm/m (cm)	100	—	100	—	Iram 6579
Solubilidad en sulfuro de C (%)	99,5	—	99,5	—	Iram 6584
Solubilidad en tetracloruro de carbono (%)	99,0	—	99,0	—	Iram 6585
Indice de penetración (Pfeiffer) “Oliensis”	- 2 negativo	+0,5	- 2 negativo	+0,5	G -1/2 Iram 6594

USO DE BENTONITA NO CONTROLE DAS PERDAS POR FILTRAÇÃO EM CANAIS DE IRRIGAÇÃO

Agustin A. Millar *
Maarten Boers **

INTRODUÇÃO

As perdas por filtração em canais de irrigação construídos de terra é um problema muito sério nos Estados Unidos (8, 9) e países latino-americanos (2, 3). A filtração não só causa perdas de água mas também pode provocar ascensão do lençol freático e acumulação de sais na superfície do solo, um problema encontrado comumente em regiões áridas e semi-áridas sob irrigação.

As perdas por filtração em canais têm sido satisfatoriamente reduzidas através da instalação de revestimentos impermeáveis, mediante tratamento especial da seção do canal, ou utilizando condutos fechados (4). Alguns tipos de revestimentos são expostos (concreto asfáltico, cimento, solo-cimento etc.), membranas enterradas (materiais asfálticos, bentonita, plástico etc.), e matérias terrosas (compactas, misturas solo-bentonita etc.).

Os revestimentos de terra são feitos com argila ou silte colocados nas paredes do canal. A bentonita é um tipo especial de argila, que absorve água e expande, e tem sido usada como material de revestimento para o controle das perdas por filtração (8, 14, 15, 16). Sua efetividade tem sido mostrada em vários trabalhos (11, 14, 15, 16).

Os objetivos deste estudo foram testar a utilidade da bentonita Brasgel em solos aluviais do Nordeste, testar vários métodos de construção de canais com misturas solo-bentonita, e determinar algumas limitações da bentonita no controle da filtração de canais de terra sob condições áridas.

Não obstante a grande quantidade de trabalhos no controle da filtração realizados com bentonita por vários pesquisadores (8, 9, 14, 15, 16), estudos de seu comportamento sob compactação (1, 12), e outros citados pelo BUREC (4), no conhecimento dos autores não se tem trabalhos com misturas solo-bentonita de solos aluviais sob condições áridas. No Brasil e outros países latino-americanos os custos de implantação da irrigação, especialmente em canais de concreto, deveriam ser reduzidos mediante técnicas como a usada neste estudo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Teste de laboratório e experimentos de campo foram realizados com misturas solo-bentonita com a finalidade de avaliar a utilidade da bentonita no controle de perdas por filtração em canais de irrigação. Este trabalho foi realizado em 1974 no Laboratório de Solos e águas da SUDENE em Petrolina, PE. Os testes de campo foram conduzidos na área experimental da Faculdade de Agronomia do Médio São Francisco (FAMESF), em Juazeiro, BA.

Solos e características. Os solos usados neste trabalho correspondem ao tipo aluvial predominante nas margens do Rio São Francisco. Amostras superficiais (0-30 cm) foram coletadas na FAMESF. Os solos variam consideravelmente em textura, de arenoso a franco. A densidade varia entre 1,3 e 1,5 g cm⁻³.

Bentonita e características. A bentonita utilizada nos testes de laboratório e campo foi fornecida pela Bentonita União Nordeste S/A Company (Campina Grande, PB) e corresponde ao tipo Brasgel. Suas características são muito similares às da bentonita americana (Volclay), ambas contendo 90% de argila coloidal e 10% de impurezas. Outros antecedentes comparativos são apresentados por Delgado (7).

Testes de Laboratório.

Os métodos e técnicas usadas no laboratório foram os seguintes:

a. **Textura.** A determinação foi realizada mediante o método do hidrômetro segundo o procedimento de Day (6). Como agente dispersante usou-se uma solução de 5% Calgon.

b. **Teste Proctor.** Este consiste em um teste de compactação do solo para obter a relação entre o conteúdo

* Engenheiro Agrônomo; Ph.D. Especialista em Irrigação do Instituto Interamericano de Ciências Agrárias (IICA). Escritório da SUDENE - Petrolina - PE.

** Engenheiro Agrícola, Estagiário do Convênio MINTER/IICA, atualmente na Universidade Agrícola de Wageningen - Holanda.

de água e a densidade aparente (13). O teste Proctor foi realizado seguindo o procedimento descrito por Felt (10) para teste de alta compactação. O martelo de compactação foi de 11,2 Kg ao invés de 4,536 Kg como recomendação pela ASTM, mas a queda livre foi ajustada a 18,5 cm para manter a mesma energia de impacto de cada batida.

O teste Proctor foi realizado para solo natural e misturas solo-bentonita contendo 2,5, 5, 7,5, 10, 12,5, 15, 17,5 e 25% de bentonita Bragel. O conteúdo de água determinou-se pelo método gravimétrico, e a densidade aparente mediante a determinação do peso do solo seco contido no cilindro do Proctor.

c. **Permeabilidade.** Os testes de permeabilidade foram conduzidos em 3 amostras de misturas compactadas de solo-bentonita para cada solo, contendo 0%, 15% e aquela porcentagem de bentonita ao qual alcançou-se a máxima densidade aparente nos testes Proctor.

Todas as amostras foram compactadas da mesma forma como no caso dos testes Proctor, mas usando cilindros de 6 cm de altura. Usou-se uma camada compactada de 4 cm de profundidade para as medidas da permeabilidade. Um cilindro plástico foi adaptado ao cilindro de aço que continha a camada compactada, para permitir uma carga de água constante de 20 cm. Os permeâmetros de carga constante estiveram em operação até obter uma velocidade constante de percolação.

d. **Perfil do grau de saturação.** Perfis do grau de saturação foram determinados em misturas compactadas. Prepararam-se amostras de 10 cm de espessura de maneira semelhante às preparadas para os testes de permeabilidade. Após obter uma velocidade constante de percolação tomaram-se amostras de umidade para cada centímetro da camada compactada.

Testes de campo

Os testes de campo foram realizados no solo arenoso para testar a bentonita no controle de perdas sob as piores condições de filtração, e utilizando diferentes tipos de canais e métodos de construção.

a. **Preparação e manejo da mistura solo-bentonita.** Nas experiências de campo usou-se uma mistura de solo-bentonita contendo 7,5% de bentonita correspondente a máxima densidade aparente obtida pelo teste Proctor. Para controlar o conteúdo de água no nível certo para máxima compactação usou-se o método Speedy¹.

As misturas de solo-bentonita foram preparadas primeiro pesando uma certa quantidade de solo, e determinando-se a umidade. Logo após, adicionou-se a bentonita necessária para formar uma mistura areia-bentonita contendo 7,5% de bentonita, e uma quantidade conhecida de água para atingir a umidade ótima (10% na mistura com fins de obter máxima compactação). A mistura foi preparada, primeiro misturando o solo e água e logo adicionando a bentonita. Neste caso obtinham-se misturas muito mais homogêneas.

b. **Construção e tratamento dos canais.** Contruíram-se 6 canais pequenos de 5 m de comprimento e 0,6 m de largura com uma seção trapezoidal e talude 1,5:1, tendo 15 cm de base e profundidade. A Figura 1 mostra as seções dos canais, cujos procedimentos de construção foram os seguintes:

TIPO A. Diretamente cavado no solo natural não alterado (Figura 1A).

TIPO B. Cavou-se uma vala retangular de 65 cm de largura e 20 cm de profundidade. Logo após, o solo natural foi compactado (Figura 1B).

TIPO C. A mistura areia-bentonita compactou-se por camadas até uma altura de 20 cm, e logo após cavou-se a seção trapezoidal no aterro compactado (Figura 1C).

TIPO E. Cavou-se uma vala retangular e logo após colocaram-se tijolos pré-moldados e compactados da mistura solo-bentonita (Figura 1E).

Um outro canal foi diretamente cortado no solo natural não alterado e revestido com plástico para prevenir filtrações. Este canal foi utilizado para medidas de evaporação de todo o período experimental.

Na construção dos canais Tipos C e D, espalhou-se a mistura em 1 m² em camadas de 4 cm de altura e compactou-se manualmente com um malho. No canal Tipo B usou-se o mesmo procedimento exceto que o solo não continha bentonita, e adicionou-se água até atingir 8% no solo com a finalidade de obter máxima compactação.

1 Thomas Ashworth and Co. LTD., Sycamore Avenue, Burnley, Lanes, England.

TIPO D. Igual ao Tipo B, mas neste caso a vala encheu-se com a mistura compactada de solo-bentonita (Figura 1D).

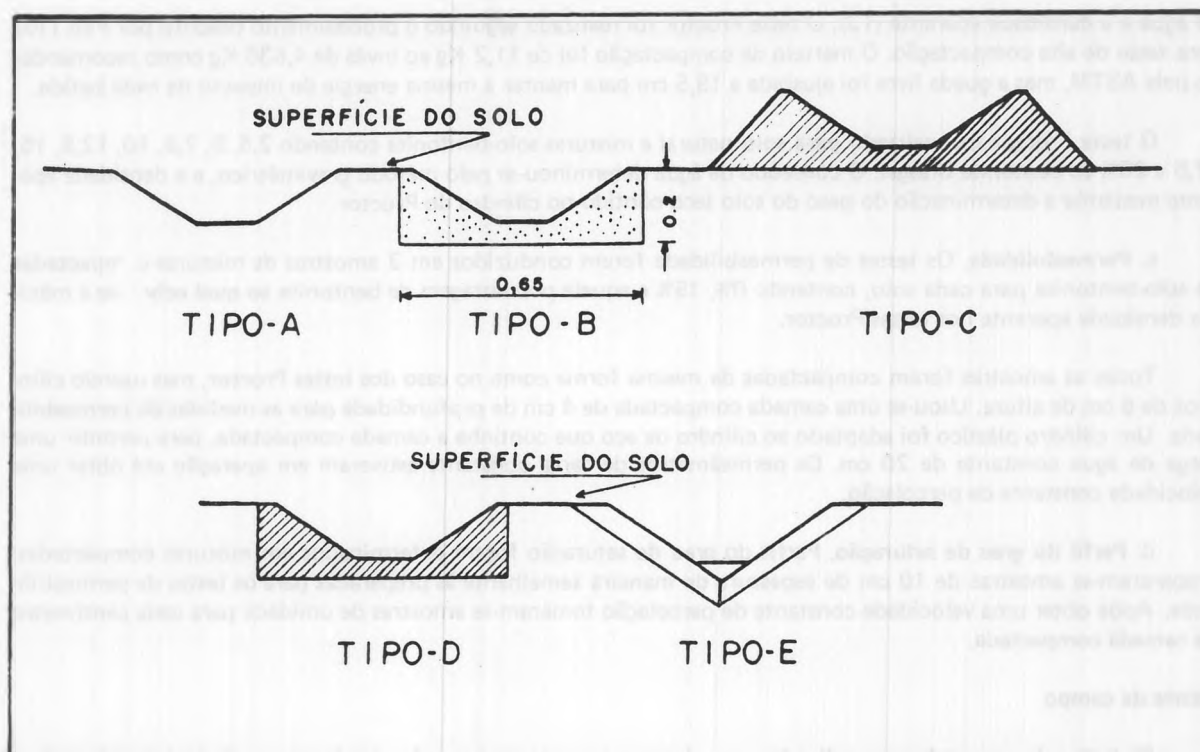


Figura 1. Secções transversais dos canais construídos no solo aluvial de textura arenosa.

Após a compactação, cortou-se a secção trapezoidal do canal com pequenas ferramentas manuais sendo suas dimensões controladas com um molde de madeira. Durante esta operação coletaram-se amostras em cada canal para a determinação da densidade aparente mediante o método do cilindro.

O canal Tipo E foi revestido com tijolos pré-moldados compactados da mistura solo-bentonita. Neste caso a mistura foi compactada em moldes de madeira construídos de tal forma que os tijolos entraram exatamente numa vala triangular. Dois tijolos retangulares de 25 cm de largura e 4 cm de espessura foram colocados nas paredes. Outro tijolo foi colocado no ângulo do fundo de tal forma que as juntas dos dois tijolos retangulares eram cobertas e a forma e secção do canal resultava idêntica às dos outros canais (Figura 1 E). Logo após a compactação, os tijolos foram colocados e as juntas fixadas com terra solta e apertados a mão.

c. **Teste de filtração.** Imediatamente após a construção realizaram-se testes de filtração em todos os canais mediante o método da bacia (5). Com este propósito instalaram-se em todos os canais medidores que permitiam fazer leituras de altura de água com uma precisão de 1 mm. Todos os canais foram cobertos com malha de arame para evitar alterações devido à bebida de animais e pássaros.

d. **Perfis do grau de saturação.** Perfis do grau de saturação nas paredes dos canais foram determinados pelo procedimento anteriormente descrito.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos testes Proctor de compactação para o solo arenoso são mostradas na Figura 2. Em geral, encontrou-se que a densidade aumentou progressivamente com o conteúdo de água da mistura solo-bentonita até um limite ótimo de conteúdo de água para compactação, e diminuiu para posteriores adições de água. Segundo Felt (10), a água exerce importante papel no processo de compactação. O aumento do filme de água ao redor das partículas de solo diminui a coesão entre elas e provê lubrificação, permitindo o fácil deslocamento das partículas para formar pacotes fechados sob pressão. Quando a água aumenta além do requerido para ocupar os espaços à máxima densidade, o excesso de água impede a completa compactação das partículas de solo. Maiores informações do comportamento físico dos solos sob compactação são apresentadas por Barden e Sides (1).

A Figura 2 mostra que a adição de bentonita aumentou em forma significativa a densidade aparente da mistura compactada atingindo um máximo para o teor de 7,5% de bentonita, diminuindo para maiores adições. Estes resultados podem dever-se ao rápido câmbio na distribuição do tamanho das partículas permitindo um melhor arranjo em presença de material mais fino. Para adições de 10, 12,5 e 15% de bentonita houve diminuição da densidade aparente com pouca diferença entre as curvas, especialmente a conteúdos de água maiores a 12%.

Dos resultados da Figura 2, conclui-se que o conteúdo de água ótimo para máxima compactação é claramente definido no caso de solos fino. No caso do solo arenoso sem bentonita, conteúdos de água entre 3 e 11% dão máxima compactação, mas na medida que a mistura ficou mais fina pela adição de bentonita, esta faixa de conteúdo de água diminuiu e foi deslocada para conteúdos maiores.

A máxima densidade aparente como função da bentonita adicionada ao solo arenoso apresenta-se na Figura 3. Incluem-se também curvas para solos franco e franco arenoso. Estas curvas foram obtidas com base nas informações dos testes Proctor com diferentes misturas. No caso do solo arenoso, a curva da Figura 3, é derivada dos dados da Figura 2. Em geral, observa-se que a máxima densidade aparente aumenta com a adição de bentonita até uma certa percentagem, a qual depende do solo, e logo diminui. Considerando a textura, a máxima densidade aparente obteve-se a diferentes quantidades de bentonita: 2,5% para o solo franco, 5% para o franco arenoso, e 7,5% para o solo arenoso. O aumento em densidade aparente para atingir a máxima, comparada ao solo natural sem bentonita foi 1,02% para o solo franco, 3,94% para o franco arenoso e 11,56% para o solo arenoso, o qual corresponde a um aumento de 0,02, 0,08 e 0,23 g/cm⁻³ em densidade aparente, respectivamente. Isto é particularmente importante porque tem sido demonstrado que pequenos câmbios em densidade aparente reduzem marcadamente o movimento de água (12, o qual é uma característica muito desejável em qualquer material a ser utilizado em revestimento de canais).

Medidas de permeabilidade foram feitas em misturas compactadas contendo 0%, 7,5% e 15% de bentonita. Em geral, a adição de bentonita causou uma diminuição de 5100 vezes na permeabilidade, de 115,77 cm dia⁻¹ para 0% de bentonita a 0,0227 cm dia⁻¹ para 7,5% de bentonita na mistura.

A filtração acumulada em função do tempo mostra-se na Figura 4 para os diferentes tipos de canais construídos no campo (Figura 1). As medidas foram feitas logo após a construção, na primeira vez que os canais receberam água. Grandes variações na velocidade de filtração encontram-se nos diferentes tipos de canais. Para o canal tipo A, cortado no solo natural, a filtração na primeira hora foi de 27 cm, 18,5 cm para o canal tipo B, 4,1 cm para o tipo E, 1,75 cm para o tipo C e 2,45 cm para o canal tipo D. Os últimos três canais tinham recebido tratamento com bentonita.

A compactação do solo natural sem bentonita tem pouco efeito nas perdas por filtração, diminuindo 31% para um incremento de 8,7% em densidade aparente, de 1,49 a 1,62 g/cm⁻³. A adição de bentonita teve um efeito marcado no processo de filtração como é indicado na Figura 4. Os tipos C e D receberam um tratamento similar de bentonita, só variando na construção, mas os resultados de filtração foram muito diferentes. Constatou-se que a maior perda de água no canal C devia-se à presença de canalículos feitos por formigas. O canal tipo E, feito de tijolos, apresenta perdas por filtração apreciáveis logo após a construção o qual acredita-se ser devido à separação nas juntas entre tijolos.

Os canais foram submetidos a ciclos de períodos secos e molhados como acontece na prática. Estes testes foram realizados com a finalidade de coletar informação sobre filtração nos canais em função do tempo de uso. As filtrações em cm dia⁻¹ para os diferentes canais, medidas do 5º para o 6º dia após a aplicação da água são apresentadas na Tabela 1. Como comparação incluem-se as filtrações medidas na primeira aplicação de água logo após construídos. Não se apresenta informação de filtração para os canais tipos A e B após a primeira aplicação porque devido às altas perdas foi impossível manter água no canal.

Comparando os resultados obtidos logo após a primeira aplicação com aqueles do 1º período, a Tabela 1 mostra que as filtrações diminuíram significativamente no 1º período. Especialmente interessante é o caso do canal Tipo E, onde a expansão da bentonita aparentemente permitiu o fechamento das juntas entre os tijolos, diminuindo a filtração em aproximadamente 50 vezes em relação à filtração na primeira aplicação. Os canais tipos C e D não mostraram diferenças significativas na filtração com o tempo transcorrido.

Em geral, observou-se que a filtração diminui 1300 a 5200 vezes com a adição de bentonita e compactação no solo arenoso. No curto período de observação (60 dias), o efeito de secado e molhado não teve maior influência na perda de água por filtração. Durante os períodos em que os canais estiveram secos apareceram muitas rachaduras, algumas de até 1,5 cm de largura, mas logo após molhados as rachaduras desapareceram imediatamente e não influenciaram os valores da filtração. A medida que o tempo transcorreu as juntas entre os tijolos do canal tipo E desapareceram pelo menos até o nível da carga de água, mas durante o período que o canal esteve seco as rachaduras concentravam-se nas áreas das juntas.

Na Figura 5 apresentam-se os perfis do grau de saturação determinados nas paredes dos canais após o 4º período de molhadura. Como comparação inclui-se um perfil determinado numa amostra do Teste Proctor. No caso do canal tipo E, construído com tijolos compactados da mistura solo-bentonita, as amostras de umidade foram coletadas nos tijolos e nas juntas. A Figura 5 mostra que a camada superior permaneceu saturada e em todos os

casos o grau de saturação diminuiu rapidamente do 2º para o 4º cm de profundidade. Somente no caso do canal tipo C a camada saturada foi de maior espessura. Os perfis do grau de saturação dos tijolos e suas juntas no canal E foram praticamente iguais o que se poderia dever ao desaparecimento das juntas devido à expansão da bentonita.

Após 70 dias de períodos secos e molhados, um novo teste de filtração nos canais foi realizado 5 dias após secos. Antes e após os testes de filtração determinaram-se os perfis do grau de saturação das paredes dos canais. Esta informação é apresentada na Figura 6. Estes resultados comparados aos inicialmente obtidos (Figura 4) mostram uma marcada redução na filtração em todos os canais construídos com mistura solo-bentonita.

Os canais tipos C e D não apresentaram perdas de água por filtração. O canal tipo E de tijolos compactados mostrou perdas insignificantes somente durante os primeiros 50 minutos.

Comparando os perfis do grau de saturação determinados antes e após os testes pode-se concluir que a saturação das paredes dos canais diminuiu marcadamente abaixo da camada superficial de 2-3 cm. Esta condição não-saturada indica um menor movimento de água nas paredes e portanto menor perdas por filtração.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

1. A quantidade de bentonita em misturas para obter a máxima compactação em canais depende da textura do solo. Encontrou-se que a máxima densidade aparente (compactação) foi atingida com 2,5, 5 e 7,5% de bentonita nos solos franco, franco arenoso e arenoso, respectivamente.

2. As permeabilidades em amostras de solo compactadas a máxima densidade aparente foram reduzidas em 5100 vezes no solo arenoso, 20,5 vezes no solo franco arenoso e 2,5 vezes no solo franco com respeito ao solo natural compactado.

3. A taxa de filtração em canais construídos num solo arenoso com mistura solo-bentonita, contendo 7,5% de bentonita e 10% de umidade, diminuiu 5000 vezes, de 523 a 0,2 cm dia⁻¹.

4. Os canais, após submetidos a ciclos de molhado e seco a cada cinco dias durante 60 dias, mostraram taxas de filtração de 0,1 cm dia⁻¹.

5. Perfis do grau de saturação das paredes dos canais demonstraram que a saturação diminuiu rapidamente abaixo da camada superficial de 2 cm.

6. Os resultados obtidos demonstraram um efeito marcado da adição de bentonita na redução das perdas por filtração em canais construídos com mistura compactada, especialmente em solos arenosos.

7. Recomenda-se fazer testes em maior escala sob condições de campo para obter informação sobre custos, durabilidade, manutenção, problemas de conservação e erosão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARDEN, L. and SIDES, G. P. Engineering behavior and structure of compacted clay. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers 96 (SMA): 1171-1200. 1970.
2. BRISTAIN, PABLO. Pérdidas de conducción en canales. Ingenieria Hidráulica en México 13 2 :71-82. 1959.
3. BRISTAIN, PABLO. Pérdidas de conducción en canales. Ingenieria Hidráulica en México 13 (3): 97-106. 1959.
4. BUREAU OF RECLAMATION. Linings for irrigation canals. Washington, United States Government Printing Office. 194 p. 1963.
5. BUREAU OF RECLAMATION. Measuring seepage in irrigation canals by the ponding method. Irrigation Operation and Maintenance 65:1-21. 1968.
6. DAY, PAUL R. Particle fractionation and particle size analysis. In: C. A. Black et al. ed., Methods of soil analysis, Part I. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy. pp 545-567. 1965. (Monograph 9).
7. DELGADO, AFRANIO A. A bentonita e a clarificação do caldo de cana-de-açúcar. Brasil Açucareiro 75(1): 35-51. 1970.
8. DIRMEYER JR, R. D. Evaluation report on recent bentonite sealing work in Wyoming canals. Wyoming Natural Resources Board in Cooperation with Wyoming Agricultural Extension Service. 50 p. 1959.

9. DUFFIN, R. B. and BOOHER, L. J. Seepage prevention in canals, reservoirs and pipelines. Davis, California, University of California, Agriculture Extension Service. 20 p. 1970. (Paper presented to the Irrigation Districts Association Annual Meeting, Los Angeles, California, Dec. 2-3, 1970).
10. FELT, EARL J. Compactability. In: C. A. Black et al. (ed.). Method of soil analysis, Part I. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy. pp. 400-412. 1965. (Monograph 9).
11. FUENTES C., VICTOR. Estudio de métodos, eficiencia y costos en revestimiento de canales. Chillán, Chile, Escuela de Agronomía, Universidad de Concepción. 96 p. 1964. (Tesis de Ing. Agr., mimeografiada).
12. GUMMS, F. A. and WARKENTIN, B. P. The effect of bulk density and initial water content on infiltration in caly soil samples. Soil Science Society of America Proceedings 36(5): 720-724. 1972.
13. PROCTOR R. R. Laboratory compaction methods, penetration resistance measurements, and indicated saturation penetration resistance. Proceedings Second International Conference of Soil Mechanics Foundation 5: 242-245. 1948.
14. ROLLINS, M. B. and DYLLA, A. S. Field experiments on sealing permeable fine sand with bentonite. Soil Science Society of America Proceedings 28(2): 268-271. 1964.
15. ROLLINS, M. B. Sealing sands with waterborne bentonite. Journal of the Irrigation and Drainage Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers 93 (IRA): 25-43. 1967.
16. USDA. Earth linings for seepage control. Evaluation of effectiveness and durability. Agricultural Research Service, U. S. Department of Agriculture, ARS-W-15. 24 p. 1974.

Tabela 1. Filtração em dia^{-1} para os diferentes canais após períodos molhados através de um ciclo de seco-molhado.

Canal	Construção	Densidade aparente (g cm^{-3})	Logo após 1.ª aplicação	1.º Período* (Após 5 dias)	2.º Período* (Após 15 dias)	3.º Período* (Após 35 dias)	4.º Período* (Após 60 dias)
A	Solo natural	1,49	523,1	-	-	-	-
B	Natural compactado em vala retangular	1,62	323,6	-	-	-	-
C	Mistura compactada em aterro	1,56	3,5	0,4	0,2	0,2	0,0
D	Mistura compactada em vala retangular	1,65	0,0	0,2	0,1	0,1	0,1
E	Tijolos de mistura compactada	1,56	14,6	0,3	0,2	0,3	0,1

* Filtração medida do 5.º ao 6.º dia após o período molhado

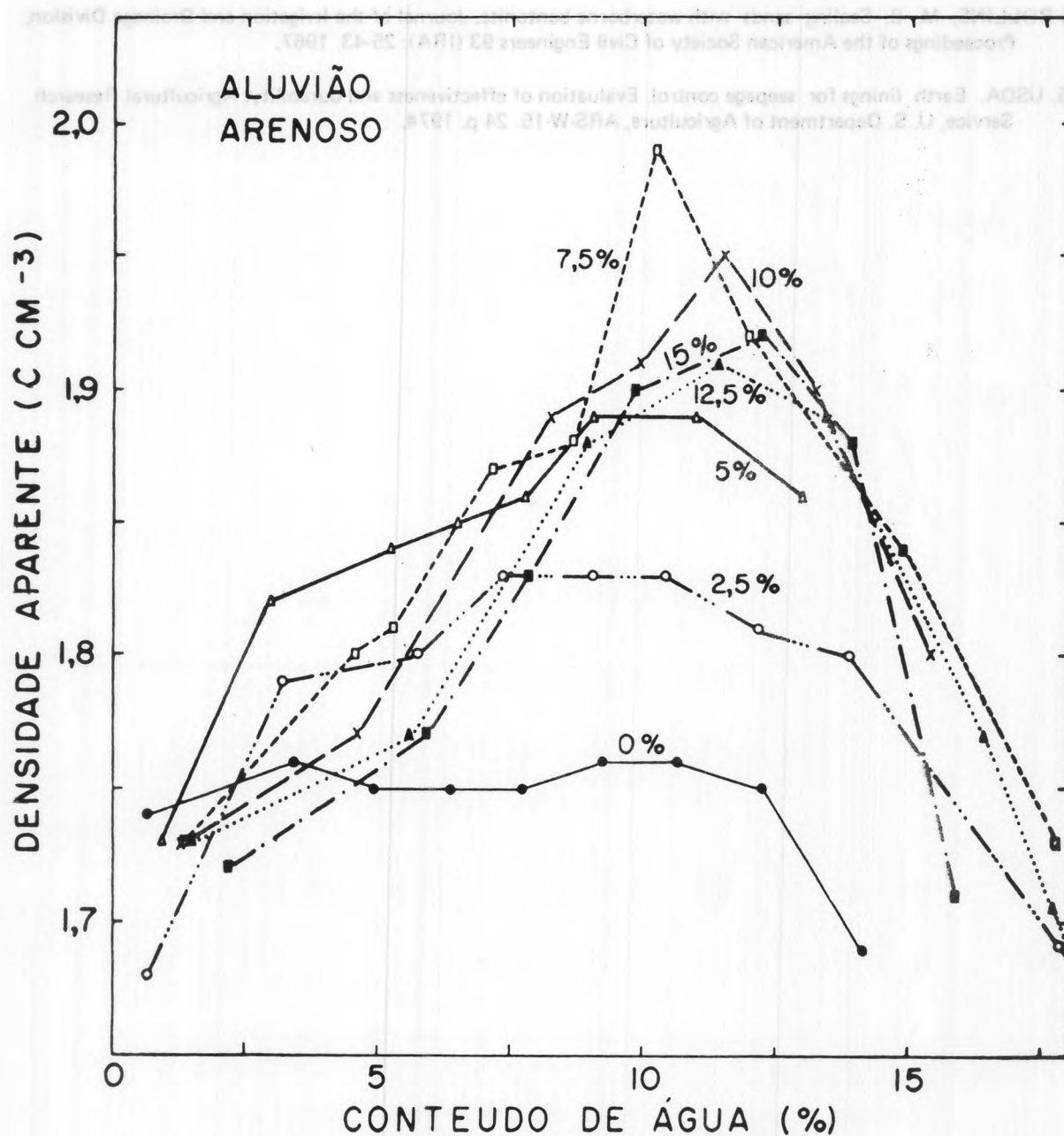


Figura 2. Relação entre densidade aparente e conteúdo de água do solo arenoso compactado com diferentes percentagens de bentonita.

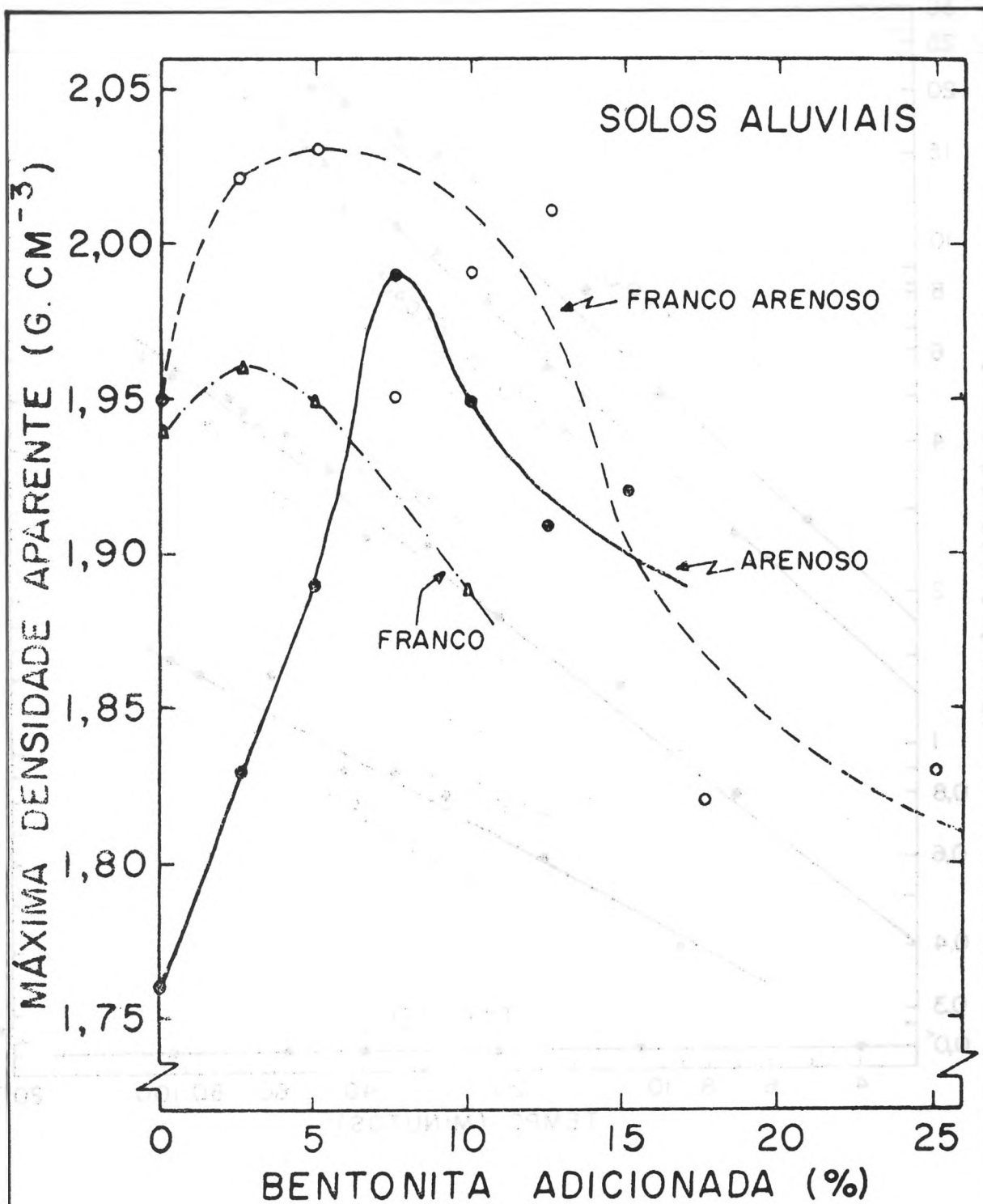


Figura 3. Relação entre densidade aparente máxima e a percentagem de bentonita adicionada a três solos aluviais.

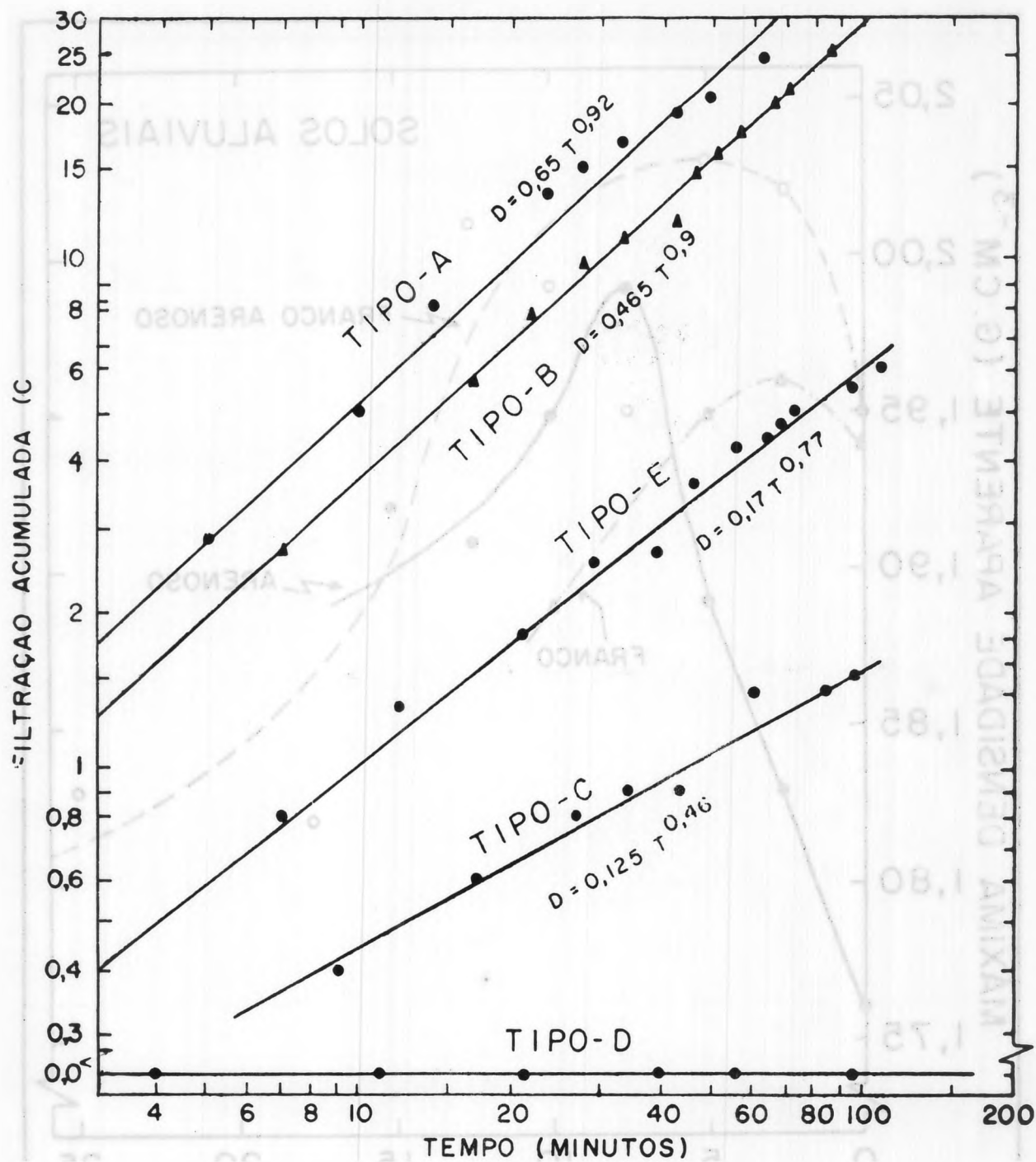


Figura 4. Filtração acumulada em função do tempo para os diferentes tipos de canais durante a primeira aplicação de água.

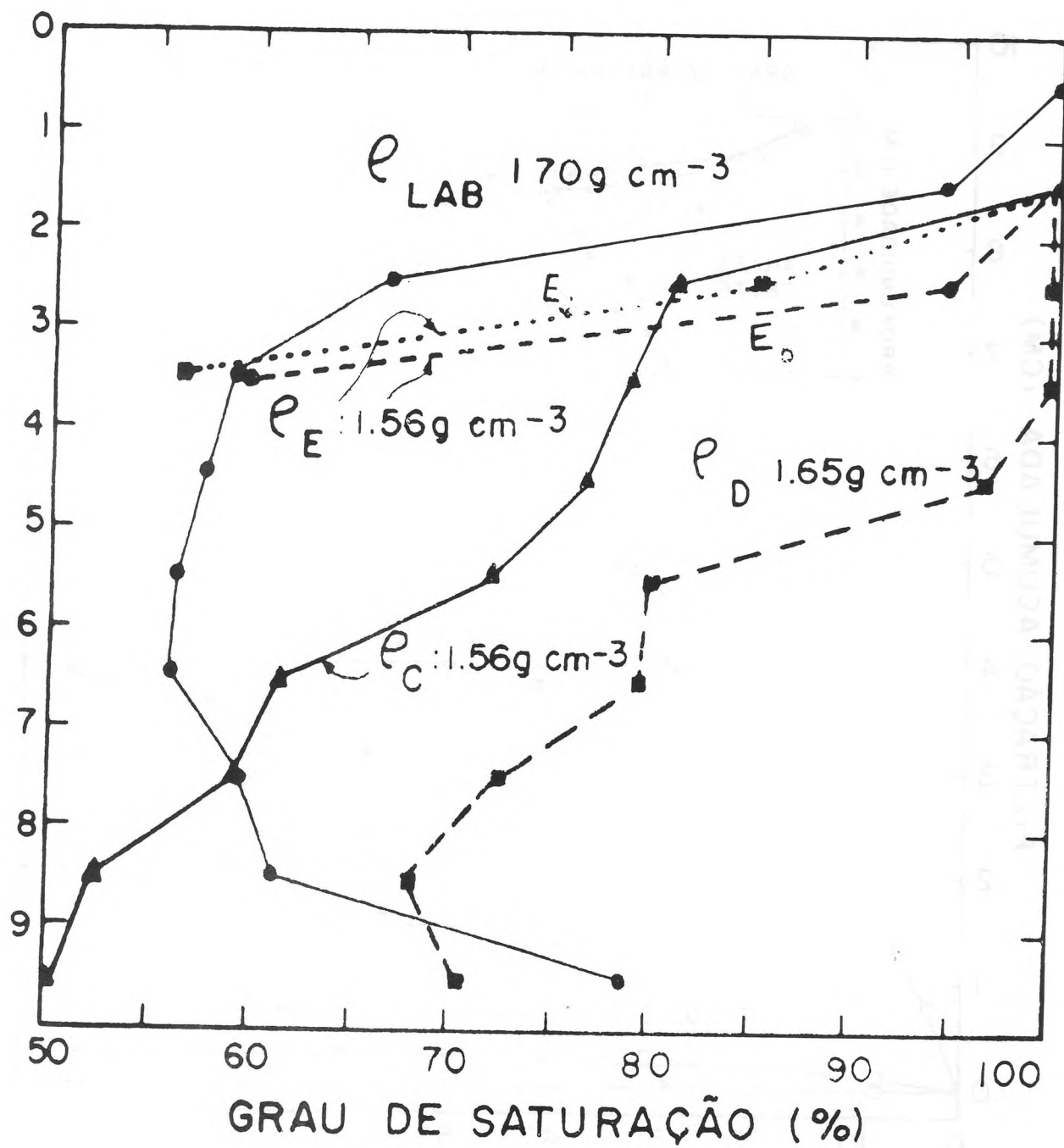


Figura 5. Perfis do grau de saturação determinados numa amostra Proctor e nas paredes dos diferentes canais.

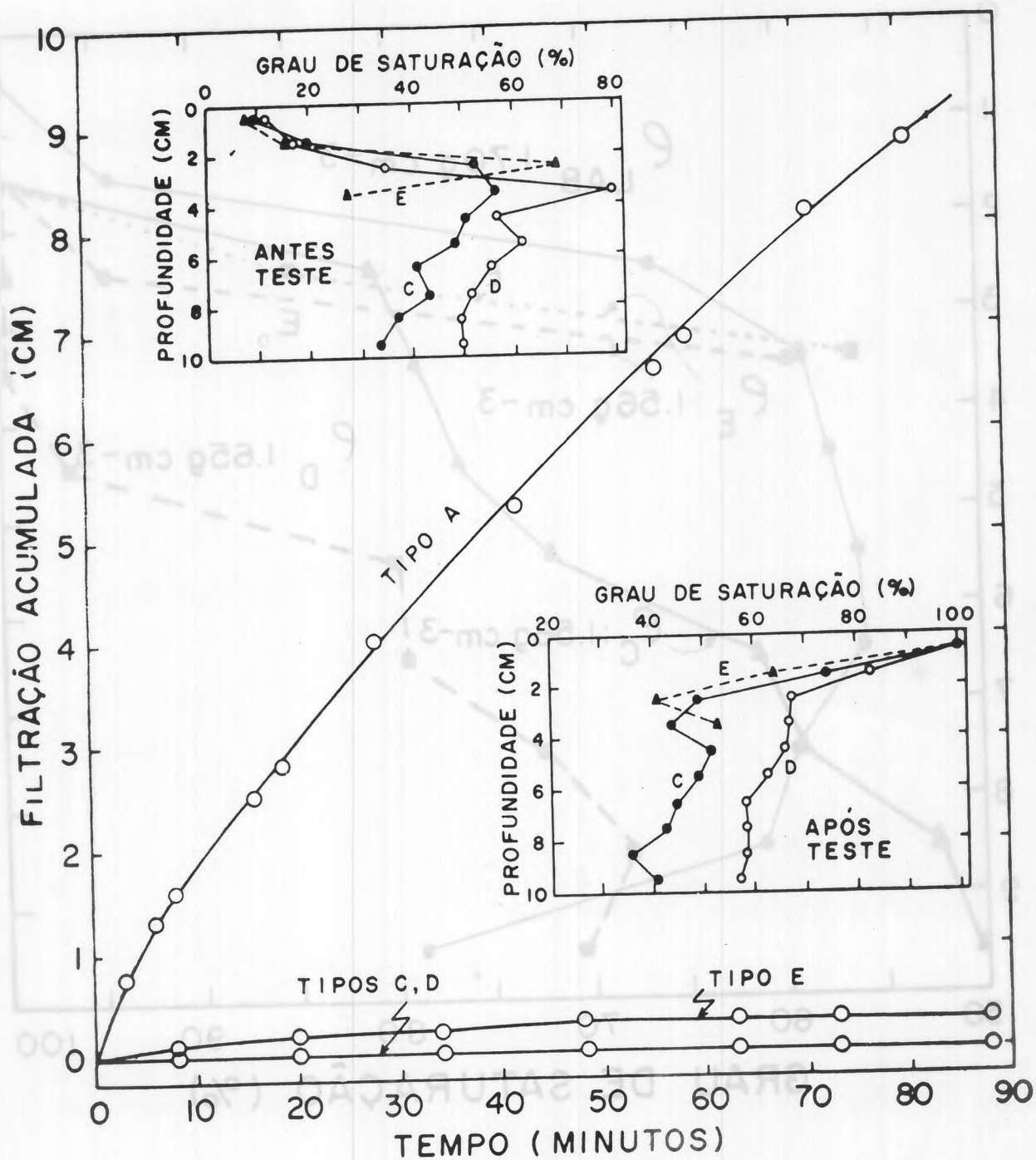


Figura 6 — Filtração acumulada em função do tempo, e perfís do grau de saturação, determinados antes e após os testes, para os diferentes canais após 70 dias de ciclos de seco e molhado.

D O A Ç Ã O

Associação Brasileira de Imigração e Rec
Porto Alegre, RS. 03-03-78

