

# BRAGANTIA

*Boletim Técnico do Instituto Agronômico do Estado de São Paulo*

Vol. 19

Campinas, julho de 1960

N.º 46

## NOVO TIPO DE EVAPORÍMETRO TERRESTRE (\*)

RINO N. TOSELLO

*Engenheiro-agrônomo, Seção de Irrigação, Instituto Agronômico*

### RESUMO

No presente trabalho descreve-se um novo tipo de evaporímetro, cujo princípio de funcionamento está baseado em leis físicas que regem o fenômeno de tensão superficial.

Neste tipo de evaporímetro a medida da evaporação é feita por processo volumétrico, dispensando o emprêgo de mecanismos de precisão e dispendiosos.

Foi feita uma análise matemática do princípio de funcionamento do novo evaporímetro, demonstrando-se oferecer exatidão plenamente satisfatória para propósitos práticos.

São dados suficientes detalhes construtivos, de instalação e operação, a fim de permitir que pessoas e entidades interessadas possam reproduzi-lo e comprovar as vantagens de seu emprêgo.

### 1 — INTRODUÇÃO

Sob o efeito da radiação solar, da circulação de massas de ar e alguns outros fatores climatológicos, todos os depósitos e correntes superficiais de água estão afetados pelo fenômeno da evaporação, que é a devolução de água à atmosfera, sob a forma de vapor.

Sendo a evaporação um dos fatores que afetam a disponibilidade de água terrestre, e portanto os seus recursos hidráulicos, é evidente que a mensuração e registro de sua grandeza seja de grande interesse para diversos ramos das ciências aplicadas, especialmente da engenharia hidráulica, nas suas múltiplas aplicações.

De um modo geral, a evaporação pode ser classificada da seguinte forma:

a) evaporação de superfície livre de água, como ocorre nos depósitos e correntes superficiais de massas de água;

(\*) Recebido para publicação em 29 de janeiro de 1960.

b) evaporação do solo, ou seja da água prêsna nos espaços intersticiais existentes entre as partículas de solo e a elas aderentes;

c) transpiração das plantas, que é a devolução, pela parte aérea da planta, principalmente através dos **estômatos foliares**, e sob a forma de vapor, de água líquida absorvida do solo, pelo sistema radicular da planta.

Os fenômenos **b** e **c**, acima descritos, quando ocorrem simultaneamente na mesma área, são considerados englobadamente sob a denominação de **evapo-transpiração**, na moderna designação dada por Thornthwaite (9), introduzindo ainda recentemente o conceito de **evapo-transpiração potencial**, que é a evaporação que ocorre em uma área inteiramente vegetada, sem que haja deficiência de água no solo ocupado pelas raízes.

Além da importância do conhecimento em si da evaporação de superfícies livres, esta também pode constituir-se em importante método auxiliar de controle de irrigações, quando correlacionada experimentalmente com a **evapo-transpiração**, conforme se depreende da leitura de numerosos trabalhos científicos (6) e, também, de troca de correspondência que a Seção de Irrigação, do Instituto Agrônomico, mantém com renomados técnicos que se acham à testa de importantes setores de trabalhos, em institutos de pesquisas estrangeiros.

## 1.2 — MEDIDA DIRETA DA EVAPORAÇÃO

### 1.2.1 — EVAPORAÇÃO DE SUPERFÍCIES LIVRES DE ÁGUA

A mensuração da evaporação de superfícies livres de água comumente é feita por meio de aparelhos especialmente construídos para êsse fim, denominados **evaporímetros**, existindo na prática diversos tipos classificados, de uma maneira geral, em **flutuantes** e **terrestres**. Aquêles são instalados em balsas flutuantes, sôbre as massas de água onde se pretende conhecer a evaporação. Os terrestres são os instalados em terra firme, nas **estações de evaporação**, que são geralmente mantidas pelos serviços de hidrometria dos departamentos especializados.

Os evaporímetros terrestres, por causa da facilidade de instalação, manutenção e também da independência das massas de água, são os preferidos, embora seus valores sejam superiores aos dos evaporímetros flutuantes, mas necessariamente correlacionados (1) com êstes (7).

(1) Recentes pesquisas na Austrália revelam que essa correlação depende também da posição geográfica.

## 1.2.2 — EVAPO-TRANSPIRAÇÃO

No caso da **evapo-transpiração**, há a considerar a evapo-transpiração **atual** e a **potencial**, aquela sendo a que se verifica em uma dada área, num dado período de tempo, e esta a que se verifica em uma área experimental, mediante condições de vegetação, solo e água mais ou menos padronizadas.

Atualmente, a medida direta da evapo-transpiração potencial se faz segundo o método desenvolvido por Thornthwaite (9), em evapotranspirômetros, os quais todavia somente se prestam para culturas de porte baixo e sistema radicular em cabeleira.

Diversos trabalhos indicam ser a evapo-transpiração uma função principalmente climática, já havendo diversas fórmulas, com bases essencialmente em elementos climáticos, que permitem uma estimativa aproximada da evapo-transpiração potencial. Dessas, destacam-se as de Thornthwaite (9), Penman (6) e Blaney e Criddle (1).

## 1.2.3 — TIPO PADRÃO DE EVAPORÍMETRO TERRESTRE

O evaporímetro terrestre consta, essencialmente, de duas partes, a saber:

a) um tanque, que serve de depósito de água, de forma cilíndrica e dimensões variáveis de acôrdo com os padrões estabelecidos e adotados pelos órgãos especializados;

b) um dispositivo para a medida da água evaporada, constando de um calibre micrométrico que, instalado num cilindro de repouso, nivelado, permite determinar as oscilações do nível de água, no tanque.

Esse dispositivo, cujo emprêgo é universal, requer muito cuidado no seu manejo, além de muita atenção nas leituras, a fim de evitar enganos; não fazendo parte integrante do evaporímetro, deve ser assentado sôbre o cilindro de repouso, prèviamente nivelado, cada vez que se pretenda efetuar a medição do nível de água, no tanque.

Tendo presentes as dificuldades inerentes ao emprêgo do evaporímetro terrestre, do tipo-padrão, e o alto custo de importação do dispositivo de medição, foi que idealizamos um novo tipo de evaporímetro, cuja descrição é objeto do presente trabalho, que dispensa totalmente o emprêgo de dispositivos de medida do nível da água, no tanque, mas baseado apenas em medições volumétricas, em cilindro graduado de 1000 ml, assemelhando-se à medição de água precipitada nos pluviômetros.

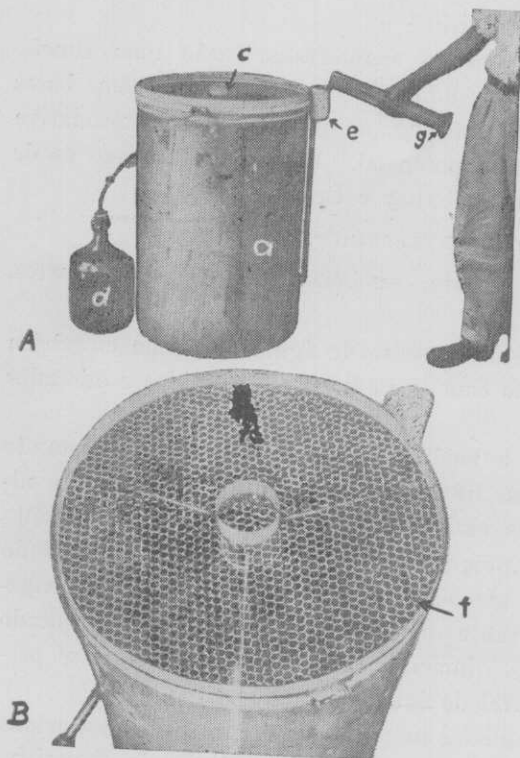
O novo evaporímetro, por envolver um novo método de medida da água evaporada, de fácil aplicação, será descrito no presente trabalho como evaporímetro modelo IA-58, sendo as letras IA as iniciais de Insti-

tuto Agrônomico e 58 o ano em que foi construído. Presta-se facilmente a modificações construtivas que lhe podem dar maior eficiência, precisão e facilidade de operação.

## 2 — O EVAPORÍMETRO IA-58

### 2.1 — DESCRIÇÃO

Consta o evaporímetro IA-58 (figura 1-A), fundamentalmente, como nos demais tipos, de um tanque aberto, que serve de depósito para a



água, e um dispositivo para a medida da água evaporada. Mais detalhadamente, compõe-se o evaporímetro das seguintes partes:

a) Um tanque tubular aberto, com 60 cm de diâmetro x 90 cm de comprimento, construído de chapa galvanizada n.º 22, pintada externamente de zarcão, com exceção de uma faixa de cerca de 3", no tampo, que é pintada de branco; no interior do tanque, apenas as partes que foram soldadas são pintadas com zarcão. As dimensões acima são adaptadas do evaporímetro "Young" (2, 4) por ter sido este o tipo de evaporímetro que, em testes

FIGURA 1. — Evaporímetro IA-58: A — Vista completa, mostrando a reposição de água com proveta de 1000 ml graduada de 10 em 10 ml; B — vista de cima, mostrando a proteção do evaporímetro com tela de viveiro de passaros e o quebra-ondas ao centro, circundando o vertedouro tubular, invisível na fotografia.

realizados no sul da Califórnia, apresentou coeficiente de correlação mais elevado, quando os seus resultados foram comparados com os de evaporação de grandes massas de água. Pela mesma razão, essas dimensões foram consideradas padrões pela "American Se-

ction, International Boundary and Water Commission" e também pelo Estado do Texas.

b) Um vertedouro central tubular de latão, de 2" de diâmetro externo, parede de 1 milímetro de espessura, torneada cônica na boca, de modo a formar um bisel de ângulo vivo, internamente dirigido; está suportado por três pedaços de tubo de latão, de 5/16 x 1/32" de diâmetro, soldados na base do vertedouro, de um lado, e na parede interna do tanque, de outro; na base inferior do vertedouro, que é fechada por uma flange externamente abaulada, está soldado um pedaço de tubo de latão de 7/16 x 1/32", saliente para baixo, ao qual se adapta um tubo plástico cristal, de 3/8" x 1/16" de parede, destinado a conduzir a água que extravasa do tanque, pelo vertedouro, para um recipiente onde é coletada e posteriormente medida.

c) Um quebra-ondas tubular, de 4" de diâmetro x 20 cm de comprimento, aberto nas extremidades, encaixado através de aberturas correspondentes, nos três tubos de latão que suportam o vertedouro, de forma a ficar com o bordo superior no mesmo nível do bordo do tanque, a cerca de 2" acima do bordo do vertedouro tubular. Ao invés de ser o quebra-ondas apenas encaixado, pode ser soldado nos tubos de latão, ou então ser o vertedouro parte integrante do quebra-ondas e este soldado aos três tubos de latão, que o ligariam às paredes do tanque.

d) Um garrafão de cerca de 12 a 15 litros, provido de uma rôlha, situado ao lado do tanque, e destinado a receber a água que extravasa do vertedouro. A rôlha contém duas perfurações às quais são adaptadas, na maior, um pedaço de tubo de latão de 7/16 x 1/32" que recebe o tubo plástico cristal, o qual se acha ligado à parede externa do tanque por outro pedaço de tubo de latão de 7/16 x 1/32" e na menor um pedaço de tubo de cobre de menor diâmetro, destinado a dar passagem ao ar expelido do garrafão e deslocado pela água extravasada do vertedouro.

e) Um recipiente tubular externo, de 7 cm de diâmetro x 11 cm de comprimento, provido de tampa, ligado ao tanque por um tubo galvanizado de 1/2" x 60 cm de comprimento, que desce verticalmente, sendo rosqueado num cotovelo de 3/4" soldado à parede externa do tanque. Esse recipiente serve para a reposição de água ao tanque, pelo princípio de vasos comunicantes, sem provocar a formação de ondas. É possível, também, que possa ser dispensado, em modelos simplificados do evaporímetro.

f) Uma tela galvanizada de viveiro de pássaro, que cobre o tanque, tendo um cinturão que a mantém presa ao seu redor, podendo ser fácil-

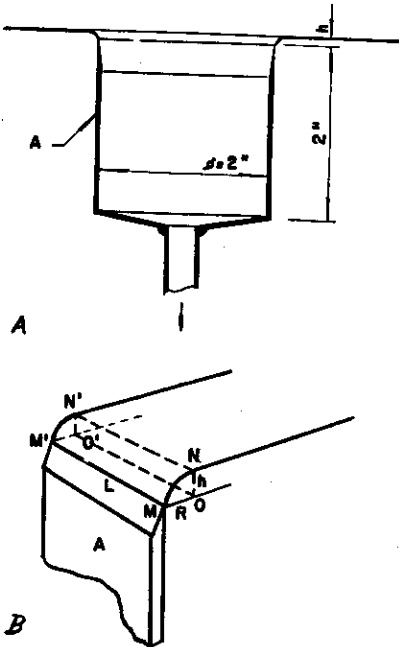
mente removida. Serve para evitar que animais e pássaros possam servir-se da água do tanque.

g) Um cilindro de 1000 ml, graduado de 10 em 10 ml, para a medida da água adicionada ao tanque e daquela extravasada no vertedouro, que é retida pelo garrafão.

h) Ainda pode ser soldada, na parte inferior da parede lateral do tanque, uma luva com plugue de 1/2", para descarga e limpeza do tanque, quando necessária.

## 2.2 — PRINCIPIO DE FUNCIONAMENTO

Adicionando-se água em excesso, até que comece a extravasar pelo



vertedouro, verifica-se que após algum tempo cessa o extravasamento de água. Nesse instante observa-se a formação de um menisco invertido, em torno da parede do vertedouro, o qual, devido ao fenômeno da tensão superficial, mantém o nível da água, no tanque, levemente acima do nível da crista do vertedouro tubular (figura 2).

Admitindo-se que o menisco seja constante, no instante em que cessa o extravasamento de água, para a mensuração da água evaporada há dois casos a considerar:

- a) caso em que houve precipitação entre as observações;
- b) caso em que não houve precipitação.

No segundo caso, é válida a seguinte igualdade:

$$V_a - V_r = V_t = V_e \quad (1)$$

na qual:  $V_a$  é o volume de água adicionado;  $V_r$ , o volume de água recolhido;  $V_t$ , o volume de água que ficou retido no tanque e  $V_e$ , o volume de água evaporado do tanque.

No primeiro caso, deve ser deduzido o volume de água da precipita-

FIGURA 2. — A — corte do vertedouro tubular, mostrando a formação do menisco invertido, represando uma porção de água no evaporímetro, representada pela altura  $h$ ; B — perspectiva do vertedouro tubular desenvolvido, mostrando esquematicamente a formação do menisco invertido, representado pela superfície curva compreendida entre os arcos MN, M'N' e as linhas MM', NN'.

ção que penetrou no tanque, o que é possível avaliar mediante a instalação de um pluviômetro nas imediações, aliás providência igualmente necessária quando se trata de medir a evaporação pelos métodos convencionais dos evaporímetros.

Para transformar volume de água evaporada, em termos de milímetros, procede-se no segundo caso da seguinte maneira: sejam  $A$ , a superfície evaporada do tanque, em  $m^2$ ,  $V_e$ , o volume de água evaporada, e  $h_e$ , a altura de água correspondente, em milímetros. Lembrando que 1 milímetro de altura de água corresponde a 1 litro de água/ $m^2$ , obtém-se:

$$A \times h_e = V_e ; \text{ donde } h_e = V_e/A.$$

Como o diâmetro do tanque é de cerca de 0,60m, e o do vertedouro circular, de 0,05 m, obtém-se:

$$\begin{aligned} h_e &= V_e/\pi(R^2 - r^2) = 4.V_e/\pi(D^2 - d^2) \\ &= 3,5615 V_e = 3,5615 (V_a - V_r) \end{aligned} \quad (2)$$

Para ilustrar a aplicação da fórmula (2), vamos supor que foram adicionados 3 litros e recolhido apenas 1 litro; ter-se-ia,

$$h_e = 3,5615(3 - 1) \cong 7,12 \text{ milímetros}$$

No caso de ter havido chuva entre as observações, por exemplo  $h_c$  milímetros, lidos na proveta do pluviômetro, situado próximo do tanque de evaporação, bastaria raciocinar que o volume recolhido  $V_r$  estará acrescido de  $V_c = h_c \cdot \pi R^2$ , que é o volume de chuva recebido pela superfície exposta do tanque, inclusive a do vertedouro.

De modo que, como expressão geral para ser empregada, com ou sem ocorrência de chuva, se teria:

$$\begin{aligned} h_e &= 3,5615 [V_a - (V_r - V_c)] \\ &= 3,5615(V_a + V_c - V_r) = 3,5615.V_e \end{aligned} \quad (3)$$

A fim de evitar que  $V_c$  seja calculado em cada observação em que tenha havido ocorrência de chuva, foi elaborada a tabela que se acha no quadro 1, que dá os valores de  $V_c$  em função de  $h_c$ , altura da precipitação em milímetros.

Não havendo precipitação,  $V_c = 0$ , e a fórmula (3) identifica-se com a (2).

Como exemplo de aplicação da fórmula (3), suponha-se que houve uma ocorrência de 15 milímetros de chuva, conforme leitura do pluviômetro, e que o volume de água, adicionado no tanque, foi de 1 litro e o

recolhido, de 4,5 litros. Fazendo-se na fórmula (3)  $V_a = 1$ ,  $V_r = 4,5$  e  $V_c = 4,240$  litros, êste sendo o valor obtido no quadro 1, para  $h_c = 15$  milímetros, obtém-se:

$$h_c = 3,5615(1,000 + 4,240 - 4,500) \\ = 3,5615 \cdot 0,740 \cong 2,64 \text{ milímetros}$$

QUADRO 1 — Conversão de milímetros de chuva ( $h_c$ ), recolhidos do pluviômetro, em volumes de água correspondentes ( $V_c$ ), recolhidos pelo tanque do evaporímetro

$h_c$	$V_c$	$h_c$	$V_c$	$h_c$	$V_c$	$h_c$	$V_c$	$h_c$	$V_c$	$h_c$	$V_c$
mm	l	mm	l	mm	l	mm	l	mm	l	mm	l
0,2	0,057	9,2	2,600	18,2	5,145	27,2	7,689	36,2	10,232	45,2	12,778
0,4	0,113	9,4	2,657	18,4	5,201	27,4	7,745	36,4	10,290	45,4	12,834
0,6	0,116	9,6	2,713	18,6	5,258	27,6	7,802	36,6	10,346	45,6	12,891
0,8	0,226	9,8	2,770	18,8	5,314	27,8	7,859	36,8	10,404	45,8	12,947
1,0	0,283	10,0	2,827	19,0	5,371	28,0	7,915	37,0	10,459	46,0	13,004
1,2	0,339	10,2	2,883	19,2	5,427	28,2	7,972	37,2	10,516	46,2	13,060
1,4	0,395	10,4	2,940	19,4	5,484	28,4	8,028	37,4	10,572	46,4	13,117
1,6	0,452	10,6	2,996	19,6	5,540	28,6	8,085	37,6	10,629	46,6	13,173
1,8	0,508	10,8	3,053	19,8	5,597	28,8	8,141	37,8	10,686	46,8	13,230
2,0	0,565	11,0	3,109	20,0	5,654	29,0	8,198	38,0	10,742	47,0	13,286
2,2	0,621	11,2	3,166	20,2	5,710	29,2	8,254	38,2	10,799	47,2	13,343
2,4	0,678	11,4	3,222	20,4	5,767	29,4	8,311	38,4	10,855	47,4	13,399
2,6	0,735	11,6	3,279	20,6	5,823	29,6	8,367	38,6	10,912	47,6	13,456
2,8	0,791	11,8	3,335	20,8	5,880	29,8	8,424	38,8	10,968	47,8	13,510
3,0	0,848	12,0	3,392	21,0	5,936	30,0	8,481	39,0	11,025	48,0	13,569
3,2	0,904	12,2	3,448	21,2	5,993	30,2	8,537	39,2	11,081	48,2	13,626
3,4	0,961	12,4	3,505	21,4	6,049	30,4	8,594	39,4	11,138	48,4	13,682
3,6	1,017	12,6	3,562	21,6	6,106	30,6	8,650	39,6	11,194	48,6	13,739
3,8	1,074	12,8	3,618	21,8	6,162	30,8	8,707	39,8	11,251	48,8	13,795
4,0	1,130	13,0	3,675	22,0	6,219	31,0	8,763	40,0	11,308	49,0	13,852
4,2	1,187	13,2	3,731	22,2	6,275	31,2	8,820	40,2	11,364	49,2	13,908
4,4	1,243	13,4	3,788	22,4	6,332	31,4	8,876	40,4	11,421	49,4	13,965
4,6	1,300	13,6	3,844	22,6	6,389	31,6	8,933	40,6	11,477	49,6	14,021
4,8	1,356	13,8	3,901	22,8	6,445	31,8	8,989	40,8	11,534	49,8	14,078
5,0	1,413	14,0	3,957	23,0	6,502	32,0	9,046	41,0	11,590	50,0	14,135
5,2	1,470	14,2	4,014	23,2	6,558	32,2	9,102	41,2	11,647	50,2	14,191
5,4	1,526	14,4	4,070	23,4	6,615	32,4	9,159	41,4	11,703	50,4	14,248
5,6	1,583	14,6	4,127	23,6	6,671	32,6	9,216	41,6	11,760	50,6	14,304
5,8	1,639	14,8	4,183	23,8	6,728	32,8	9,272	41,8	11,816	50,8	14,361
6,0	1,696	15,0	4,240	24,0	6,784	33,0	9,329	42,0	11,873	51,0	14,417
6,2	1,752	15,2	4,297	24,2	6,841	33,2	9,385	42,2	11,929	51,2	14,474
6,4	1,809	15,4	4,353	24,4	6,897	33,4	9,442	42,4	11,986	51,4	14,530
6,6	1,865	15,6	4,410	24,6	6,954	33,6	9,498	42,6	12,043	51,6	14,587
6,8	1,922	15,8	4,466	24,8	7,010	33,8	9,555	42,8	12,099	51,8	14,643
7,0	1,978	16,0	4,523	25,0	7,067	34,0	9,611	43,0	12,156	52,0	14,700
7,2	2,035	16,2	4,579	25,2	7,124	34,2	9,668	43,2	12,212	52,2	14,756
7,4	2,091	16,4	4,636	25,4	7,180	34,4	9,724	43,4	12,269	52,4	14,813
7,6	2,148	16,6	4,692	25,6	7,237	34,6	9,781	43,6	12,325	52,6	14,870
7,8	2,205	16,8	4,749	25,8	7,293	34,8	9,837	43,8	12,382	52,8	14,926
8,0	2,261	17,0	4,806	26,0	7,350	35,0	9,894	44,0	12,438	53,0	14,983
8,2	2,318	17,2	4,862	26,2	7,406	35,2	9,951	44,2	12,495	53,2	15,039
8,4	2,374	17,4	4,918	26,4	7,463	35,4	10,007	44,4	12,551	53,4	15,096
8,6	2,431	17,6	4,975	26,6	7,519	35,6	10,064	44,6	12,608	53,6	15,152
8,8	2,487	17,8	5,033	26,8	7,576	35,8	10,120	44,8	12,664	53,8	15,209
9,0	2,544	18,0	5,088	27,0	7,632	36,0	10,177	45,0	12,721	54,0	15,266



2.3 — ANÁLISE MATEMÁTICA DO PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO  
EVAPORÍMETRO IA-58

Conforme mostra a figura 2, seja A a parede delgada, desenvolvida, de aresta viva, do vertedouro cilíndrico, cujo comprimento da crista é dado pela letra  $L = 2\pi r$ , sendo r o raio do vertedouro cilíndrico.

Devido ao fenômeno da tensão superficial, forma-se um menisco ao longo de L, cuja seção é representada pelas áreas iguais MNO, M'N'O', representando uma porção de água no tanque cuja altura acima da crista é dada pela letra h. Sendo h muito pequeno (da ordem de 2,6 milímetros, conforme se demonstrará mais adiante), não haverá discrepância em se tomar o arco MN como sendo o de um arco de círculo de raio R, de modo que a superfície do menisco, MM'N'N, passa a ser a de 1/4 do cilindro cuja seção reta tem o raio  $R = h$  e altura L. De modo que, representando pela letra A a superfície do menisco, teríamos:

$$A = 1/4 \cdot 2\pi RL = 1/2 \cdot \pi RL \quad (4)$$

e representando por  $dA$  a área elementar do menisco, teríamos a equação diferencial:

$$dA = 1/2 \cdot \pi L \cdot dR \quad (5)$$

Representando por  $dw$  o trabalho infinitamente pequeno para a formação da área elementar  $dA$ , tem-se a expressão geral:

$$dw = \gamma \cdot dA \quad (6)$$

na qual  $\gamma$  é o coeficiente de tensão superficial, ou seja o trabalho potencial armazenado por unidade de superfície do menisco. A unidade comum de  $\gamma$ , e que será usada neste trabalho, é a de 1 erg/cm<sup>2</sup> ou 1 dine-cm/cm<sup>2</sup>.

Substituindo na expressão (6),  $dA$  pelo seu valor dado em (5), teríamos:

$$dw = 1/2 \cdot \pi L \cdot dR \quad (7)$$

De outro lado, o trabalho de expansão de uma área elementar do menisco,  $dA$ , em função da diferença de pressão,  $p - p_0$ , entre os lados convexo e côncavo do menisco, quando o raio R é acrescido de  $dR$ , é dado pela expressão geral da diferencial dupla  $(p - p_0) \cdot dA \cdot dR$  (7). Como A e R são variáveis independentes, integrando-se a diferencial dupla em relação a  $dA$ , obtém-se:

$$dw = 1/2 \cdot \pi L (p - p_0) \cdot R \cdot dR \quad (8)$$

Igualando-se as expressões (7) e (8), obtém-se:

$$1/2 \cdot \pi \cdot L \cdot \gamma dR = 1/2 \cdot \pi \cdot L (p - p_0) \cdot R \cdot dR$$

$$\gamma = (p - p_0) \cdot R$$

$$\gamma/R = p - p_0 \quad (9)$$

De outro lado, aplicando-se ao evaporímetro, que é um tanque aberto, a equação fundamental que regula a variação de pressão com a altitude,  $dp = \rho \cdot g \cdot dh$ , na qual  $\rho$  é a densidade do líquido, em g/ml,  $g$  a aceleração da gravidade, em cm/seg<sup>2</sup>,  $dh$  a diferença de altitude, e  $dp$  a diferença de pressão correspondente, ter-se-ia, entre os pontos N e O:

$$\int_{p_0}^p dp = \int_0^R \rho \cdot g \cdot dh$$

$$p - p_0 = \rho \cdot g \cdot R \quad (10)$$

Igualando-se as equações (9) e (10), obtém-se:

$$\gamma/R = \rho \cdot g \cdot R$$

$$R^2 = \gamma/\rho \cdot g$$

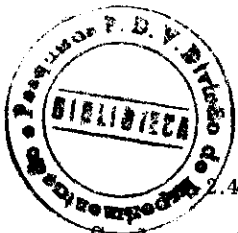
$$R = \sqrt{\gamma/\rho \cdot g} \quad (11)$$

#### 2.4 - VARIAÇÃO DE R COM A TEMPERATURA

Sendo o coeficiente de tensão superficial da água influenciado pela temperatura, variando diretamente com esta, num grande intervalo (3), o raio do menisco R, ou seja a altura do nível da água, acima da crista do vertedouro, também é influenciado no mesmo sentido pela temperatura.

Daí pois a conveniência de ser investigado se, nos limites de variação de temperatura, entre as mensurações de água evaporada, mesmo em cada dia, à mesma hora, haveria necessidade de ser efetuada uma correção devido à variação de temperatura, correção essa que, caso fôsse feita, implicaria na redução das mensurações a uma mesma temperatura padrão, eliminando dessa forma qualquer oscilação do nível devido a uma temperatura diferente daquela tomada como padrão.

Procedendo-se à leitura diariamente, por exemplo às 8 ou 9 horas da manhã, e tomando por base um limite de variação bem amplo de temperatura, entre 0 e 50°C, teríamos a variação de R dada pelas seguintes equações, obtidas a partir de (11):



$$R_{(0^\circ)} = 0,318/\gamma_{(0^\circ)}$$

$$R_{(50^\circ)} = 0,318/\gamma_{(50^\circ)}$$

$$R_{(0^\circ)} - R_{(50^\circ)} = 0,318 (1/\gamma_{(0^\circ)} - 1/\gamma_{(50^\circ)}) \quad (12)$$

QUADRO 2 — Conversão de volume de água (V<sub>e</sub>), evaporado do evaporímetro IA-58, em altura de água (h<sub>e</sub>) correspondente

V <sub>e</sub>	h <sub>e</sub>	V <sub>e</sub>	h <sub>e</sub>	V <sub>e</sub>	h <sub>e</sub>	V <sub>e</sub>	h <sub>e</sub>	V <sub>e</sub>	h <sub>e</sub>	V <sub>e</sub>	h <sub>e</sub>
l	mm	l	mm	l	mm	l	mm	l	mm	l	mm
0,010	0,04	0,510	1,82	1,010	3,60	1,510	5,38	2,010	7,16	2,510	8,94
0,020	0,07	0,520	1,85	1,020	3,63	1,520	5,41	2,020	7,19	2,520	8,97
0,030	0,10	0,530	1,89	1,030	3,67	1,530	5,45	2,030	7,23	2,530	9,01
0,040	0,14	0,540	1,92	1,040	3,70	1,540	5,48	2,040	7,27	2,540	9,04
0,050	0,18	0,550	1,96	1,050	3,74	1,550	5,52	2,050	7,30	2,550	9,08
0,060	0,21	0,560	1,99	1,060	3,78	1,560	5,56	2,060	7,34	2,560	9,12
0,070	0,25	0,570	2,03	1,070	3,81	1,570	5,59	2,070	7,37	2,570	9,15
0,080	0,28	0,580	2,07	1,080	3,85	1,580	5,62	2,080	7,41	2,580	9,19
0,090	0,32	0,590	2,10	1,090	3,88	1,590	5,66	2,090	7,44	2,590	9,22
0,100	0,36	0,600	2,14	1,100	3,92	1,600	5,70	2,100	7,48	2,600	9,26
0,110	0,39	0,610	2,17	1,110	3,95	1,610	5,73	2,110	7,51	2,610	9,30
0,120	0,43	0,620	2,21	1,120	3,99	1,620	5,77	2,120	7,55	2,620	9,33
0,130	0,46	0,630	2,24	1,130	4,02	1,630	5,81	2,130	7,59	2,630	9,37
0,140	0,50	0,640	2,28	1,140	4,06	1,640	5,84	2,140	7,62	2,640	9,40
0,150	0,53	0,650	2,31	1,150	4,10	1,650	5,88	2,150	7,66	2,650	9,44
0,160	0,57	0,660	2,35	1,160	4,13	1,660	5,91	2,160	7,69	2,660	9,47
0,170	0,61	0,670	2,39	1,170	4,17	1,670	5,95	2,170	7,73	2,670	9,51
0,180	0,64	0,680	2,42	1,180	4,20	1,680	5,98	2,180	7,76	2,680	9,54
0,190	0,68	0,690	2,46	1,190	4,24	1,690	6,02	2,190	7,80	2,690	9,58
0,200	0,71	0,700	2,49	1,200	4,27	1,700	6,05	2,200	7,84	2,700	9,62
0,210	0,75	0,710	2,53	1,210	4,31	1,710	6,09	2,210	7,87	2,710	9,65
0,220	0,78	0,720	2,56	1,220	4,34	1,720	6,12	2,220	7,91	2,720	9,69
0,230	0,82	0,730	2,60	1,230	4,38	1,730	6,16	2,230	7,94	2,730	9,72
0,240	0,85	0,740	2,64	1,240	4,42	1,740	6,20	2,240	7,98	2,740	9,76
0,250	0,89	0,750	2,67	1,250	4,45	1,750	6,23	2,250	8,01	2,750	9,79
0,260	0,93	0,760	2,71	1,260	4,49	1,760	6,27	2,260	8,05	2,760	9,83
0,270	0,96	0,770	2,74	1,270	4,52	1,770	6,30	2,270	8,08	2,770	9,87
0,280	1,00	0,780	2,78	1,280	4,56	1,780	6,34	2,280	8,12	2,780	9,90
0,290	1,03	0,790	2,81	1,290	4,59	1,790	6,38	2,290	8,16	2,790	9,94
0,300	1,07	0,800	2,85	1,300	4,63	1,800	6,41	2,300	8,19	2,800	9,97
0,310	1,10	0,810	2,88	1,310	4,67	1,810	6,45	2,310	8,23	2,810	10,01
0,320	1,14	0,820	2,92	1,320	4,70	1,820	6,48	2,320	8,26	2,820	10,04
0,330	1,18	0,830	2,96	1,330	4,74	1,830	6,52	2,330	8,30	2,830	10,08
0,340	1,21	0,840	2,99	1,340	4,77	1,840	6,55	2,340	8,33	2,840	10,11
0,350	1,25	0,850	3,03	1,350	4,81	1,850	6,59	2,350	8,37	2,850	10,15
0,360	1,28	0,860	3,06	1,360	4,84	1,860	6,62	2,360	8,41	2,860	10,19
0,370	1,32	0,870	3,10	1,370	4,88	1,870	6,66	2,370	8,44	2,870	10,22
0,380	1,35	0,880	3,13	1,380	4,91	1,880	6,70	2,380	8,48	2,880	10,26
0,390	1,39	0,890	3,17	1,390	4,95	1,890	6,73	2,390	8,51	2,890	10,29
0,400	1,42	0,900	3,21	1,400	4,99	1,900	6,77	2,400	8,55	2,900	10,33
0,410	1,46	0,910	3,24	1,410	5,02	1,910	6,80	2,410	8,58	2,910	10,36
0,420	1,50	0,920	3,28	1,420	5,06	1,920	6,84	2,420	8,62	2,920	10,40
0,430	1,53	0,930	3,31	1,430	5,09	1,930	6,87	2,430	8,65	2,930	10,44
0,440	1,57	0,940	3,35	1,440	5,13	1,940	6,91	2,440	8,69	2,940	10,47
0,450	1,60	0,950	3,38	1,450	5,16	1,950	6,94	2,450	8,72	2,950	10,51
0,460	1,64	0,960	3,41	1,460	5,20	1,960	6,98	2,460	8,76	2,960	10,54
0,470	1,67	0,970	3,45	1,470	5,24	1,970	7,02	2,470	8,80	2,970	10,58
0,480	1,71	0,980	3,49	1,480	5,27	1,980	7,05	2,480	8,83	2,980	10,61
0,490	1,75	0,990	3,53	1,490	5,31	1,990	7,08	2,490	8,87	2,990	10,65
0,500	1,78	1,000	3,56	1,500	5,34	2,000	7,12	2,500	8,90	3,000	10,68

Sendo os valores de  $\gamma$  substituídos em (12), pelos encontrados no quadro 2, obtém-se:

$$R_{(0^\circ)} - R_{(50^\circ)} = 0,144372 \dots \text{ milímetros}$$

Como se observa, apenas cêrca de 15 centésimos de milímetro seria a ordem de correção de R, para o amplo intervalo de variação de temperatura, de 0 a 50°C. Admitindo-se que a temperatura média da água no evaporímetro, por ocasião das mensurações, esteja em tórno de 20°C, ou pouco menos ou pouco mais, o que é irrelevante para o caso, e que se a tomasse como temperatura padrão, a correção a ser feita seria sempre inferior a 0,1 de milímetro, portanto insignificante para propósitos práticos.

Abstendo-se pois de correção, o que dispensaria a medição da temperatura da água, a mensuração da água evaporada com o evaporímetro descrito neste trabalho reduzir-se-ia a um processo de extrema facilidade.

No quadro 3 estão dados, além dos valores absolutos de R e das correções de R, para a temperatura padrão de 20°C, os valores do êrro relativo que se cometeria no amplo intervalo de temperatura de 0 a 50°C, caso não fôsse feita a correção. Observa-se que o máximo êrro que se cometeria seria da ordem de 3,5% sôbre o valor de R, que é de 2,621 milímetros, à temperatura de 50°C. Todavia, de um modo geral, quanto mais alta a temperatura, tanto maior será a evaporação, de modo que a evaporação diária seria, provàvelmente, maior do que o dôbro da altura do menisco, ou seja, superior a 5 milímetros, reduzindo-se na mesma proporção o êrro relativo, em função da evaporação diária. Assim, o êrro relativo devido à variação da altura do menisco seria, no máximo, da ordem de 2%.

QUADRO 3 — Valores de R e correção, em função de  $\gamma$ , para as temperaturas de 0 a 50°C, em intervalos de 10°C

T	$\gamma$	R	Correção	Êrro relativo
°C	erg/cm <sup>2</sup>	mm	mm	%
0.....	75,60	2,765	0,052	1,9
10.....	74,22	2,740	0,027	1,0
20.....	72,75	2,713	0,0	0,0
30.....	71,18	2,683	0,030	1,1
40.....	69,56	2,652	0,061	2,3
50.....	67,91	2,621	0,092	3,5

## 2.5 — FONTES DE ÊRRO

Há ainda outras fontes de erro a serem consideradas, as quais se acham ligadas, respectivamente:

- a) leitura do volume de água a ser adicionado ao tanque;
- b) leitura do volume de água recolhido do garrafão.

Excluindo-se os erros grosseiros, elimináveis pela atenção e correção das leituras, restariam, no primeiro caso, os erros de apreciação da coincidência do menisco com as graduações de um cilindro de 1000 ml, graduado de 10 em 10 ml. Adotando-se o critério de adicionar volumes de 1000 ml, de cada vez, reduzir-se-ia esse erro relativo a um máximo de 0,5%.

Quanto ao segundo, há dois tipos de erros a serem considerados: um, é o de apreciação volumétrica, que em virtude do menor volume recolhido é relativamente maior do que o anterior, porém pode ser bastante reduzido, bastando aumentar o volume de água a ser adicionado, aumentando conseqüentemente o recolhido; o outro erro, e de todos o mais importante, é o proveniente da coleta de um volume de água do garrafão, no tanque, com a forma física estável do menisco. Abstraindo o efeito da ação do vento, desde quando começa a extravasar água no vertedouro, há decorrência de 10 a 15 minutos, para que o menisco atinja a sua forma física de equilíbrio.

O histograma da figura 3, construído com a média de diversas observações, ilustra o fato acima descrito, verificando-se que o gotejamento do remanescente de água, que ainda deve entrar no garrafão, processa-se mais ou menos rapidamente, podendo-se adotar como critério para a medição do volume de água recolhida no garrafão, o intervalo de cerca de 12 a 15 minutos, a partir do início do extravasamento de água no vertedouro.

O único agente que poderia interferir de maneira a dificultar as mensurações seria o vento, cuja ação é imprevista. Seu efeito pode, todavia, ser reduzido a um mínimo se, por exemplo, as observações forem feitas nas horas de menor

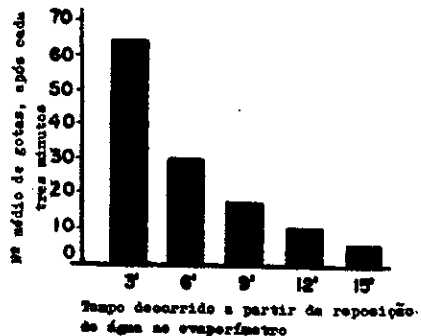


FIGURA 3. — Histograma do gotejamento, mostrando que o número de gotas decresce rapidamente, dando uma idéia aproximada de que se reduz à metade em cada intervalo de três minutos.

movimentação atmosférica e se, durante as mensurações, forem tomadas precauções especiais a fim de proteger o evaporímetro da interferência do vento. Essa interferência pode ser totalmente eliminada, protegendo-se o tanque com uma cobertura de matéria plástica, leve, colocada por sobre a tela metálica, durante a mensuração.

A interferência do vento somente tem lugar por ocasião da mensuração, pois que posteriormente qualquer extravasamento de água, provocado pela movimentação atmosférica, será retido pelo garrafão, tendo seu volume computado tanto na água adicionada como na recolhida, desaparecendo por diferença.

Quanto ao gotejamento acima referido, no caso do evaporímetro descrito, em ausência de vento, algumas observações preliminares indicam que em cada 3' subseqüentes, o número de gotas reduz-se praticamente à metade do precedente, dando origem a uma série geométrica cuja razão é  $r = 1/2$ , obtendo-se para soma dos seus termos a expressão:

$$S = \lim_{n \rightarrow \infty} a(1 - r^n)/(1 - r) = a/(1 - r) = 2a$$

em virtude de

$$\lim_{n \rightarrow \infty} r^n = 0.$$

Sendo  $v$  o volume médio de uma gôta, obtém-se para o volume total das gotas,  $V = S.v$ , o qual deverá ser adicionado ao volume recolhido do garrafão, para correção do gotejamento. Tendo sido obtido, em diversas observações,  $S.v = 40$  ml, para  $S = 120$ , obtém-se para  $a$  cêrca de 60 gotas e para  $v$  cêrca de 0,33 ml.

Fazendo-se a leitura após 12 minutos, deixa-se de computar, caso a equação acima se verifique:

$$\text{Resto} = 120 - 60 - 30 - 15 - 7,5 = 7,5$$

ou seja, em volume

$$7,5 \cdot 0,33 \cong 2,5 \text{ ml}$$

quantidade pouco significativa, considerando que o cilindro é graduado de 10 em 10 ml.

Não houve a preocupação, de nossa parte, de estabelecer uma equação exata para o gotejamento, porquanto os dados foram suficientes para indicar que, em ausência de vento, ou mesmo com ventilação

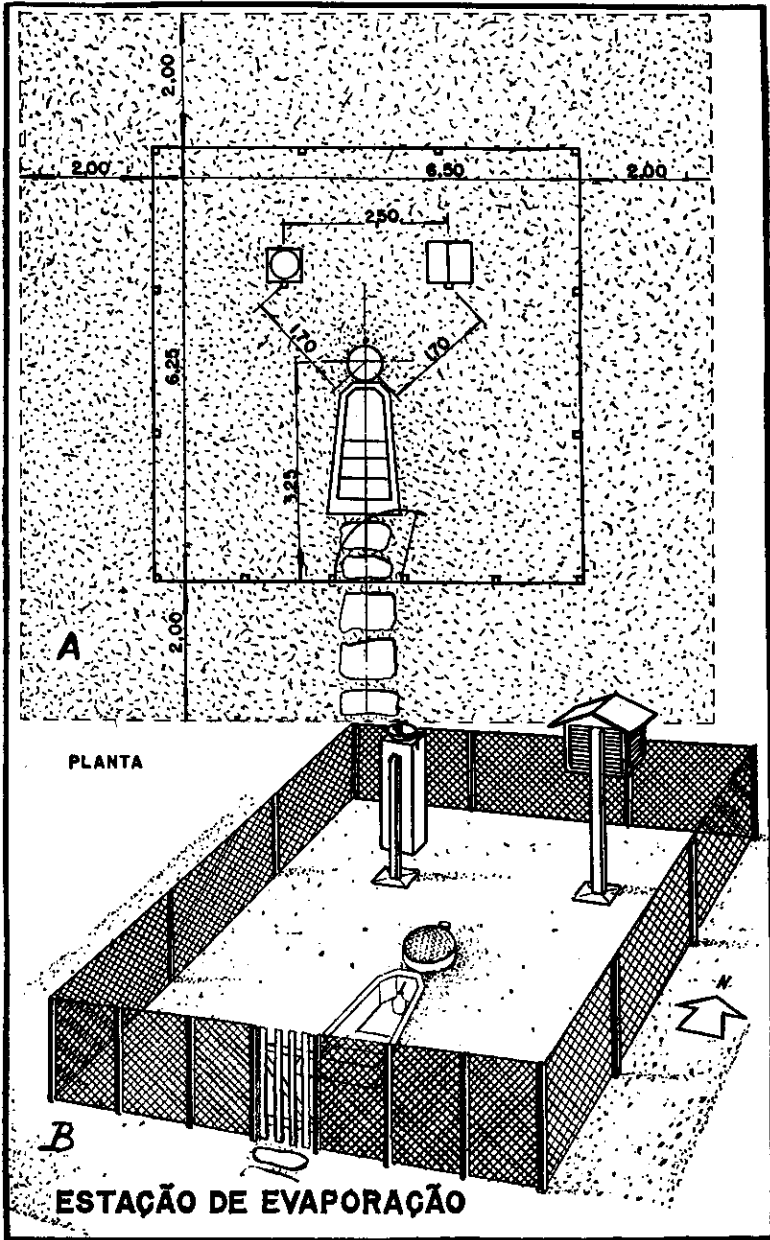


FIGURA 4. — A — Planta da Estação de Evaporação, instalada na E. E. "Dr. Theodureto de Camargo", do Instituto Agronômico, em Campinas; B — vista em perspectiva, da mesma Estação de Evaporação.

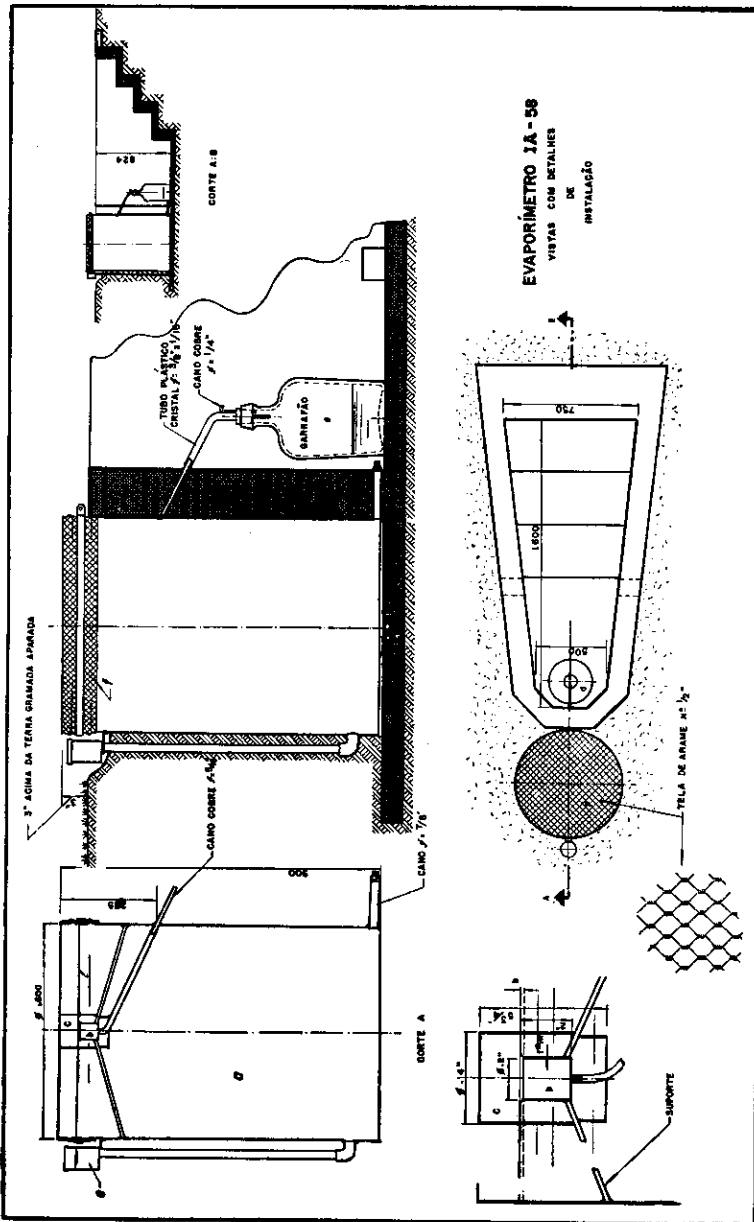


FIGURA 5. — Detalhes de instalação do Evaporímetro IA-58 na Est. Experimental "Dr. Theodureto de Camargo".



fraca, o menisco tende a adquirir sua forma física de equilíbrio, rapidamente, possibilitando a aplicação da equação da série decrescente apenas para dar uma idéia aproximada da grandeza do erro que, conforme a análise acima revela, é de pouca significância.

#### 2.6 — INSTALAÇÃO E OPERAÇÃO DO EVAPORÍMETRO IA-58

Para que os dados do evaporímetro tenham a significação mencionada em (2), deve-se instalá-lo enterrado no solo, com os bordos cêrea de 3" para fora, gramando-se ao redor, porém mantendo-se a grama sempre aparada.

A fim de evitar a formação de limo na água e nas paredes internas do tanque, pode-se adicionar sulfato de cobre quimicamente puro, na proporção de 12 a 24 centigramas por metro cúbico, ou outro desinfetante estável, igualmente eficiente.

Para evitar que a turbidez que se desenvolve na água possa interferir nos resultados, em virtude da maior absorção de calor radiante, convém trocar toda a água com a frequência que se fizer necessária. Também é indispensável, com certa frequência, limpar a superfície da água de insetos e renovar a película superficial, pois esta com o tempo forma coágulos de substâncias orgânicas, que retêm a poeira fina, interferindo na reflexão da luz e na absorção do calor.

Evidentemente, a água a ser posta no tanque de evaporação não deve ser turva, não necessitando também ser destilada, servindo a água de torneira, de fontes, represas e córregos, quando suficientemente limpa e clara.

Um esquema de estação de evaporação é dado na figura 4, na qual se mostra a posição do pluviômetro e do abrigo dos termômetros de máxima e mínima. Os detalhes de instalação são completados na figura 5, sendo que uma vista do evaporímetro já instalado e em operação é dada na figura 6.

Apesar da simplicidade da operação do evaporímetro IA-58, o seu emprêgo traz, quando usado para a finalidade de controle de irrigação, certas dificuldades e inconvenientes que não devem ser ignorados, razão por que são sucintamente enumerados:

- a) necessidade de água para operar, o que todavia não seria problema em lugar que será irrigado;
- b) necessidade de limpeza periódica e de renovação da água no tanque;
- c) interferência do vento por ocasião das leituras, o que todavia poderá ser eliminada, com as precauções já indicadas;

d) necessidade de leituras constantes, preferivelmente quotidianas; em certos casos o intervalo entre leituras poderá ser dilatado;

f) necessidade de cálculo para a obtenção dos valores de água evaporada, o que pode ser bastante simplificado pelo emprego de tabelas;

g) possibilidade de chuvas que ultrapassem a capacidade do recipiente de coleta de água e do tanque, com extravasamento.

Como a maior parte dos itens acima são comuns a todos os tipos de evaporímetros, o IA-58, comparado aos evaporímetros convencionais, apresenta a vantagem de poder ser construído localmente e operado pelo mesmo tipo de pessoal capaz de fazer observações pluviométricas.

Para a anotação dos dados apresentamos um modelo, de ficha, idêntica à utilizada pela Seção de Irrigação, do Instituto Agrônomo, para o registro das observações:

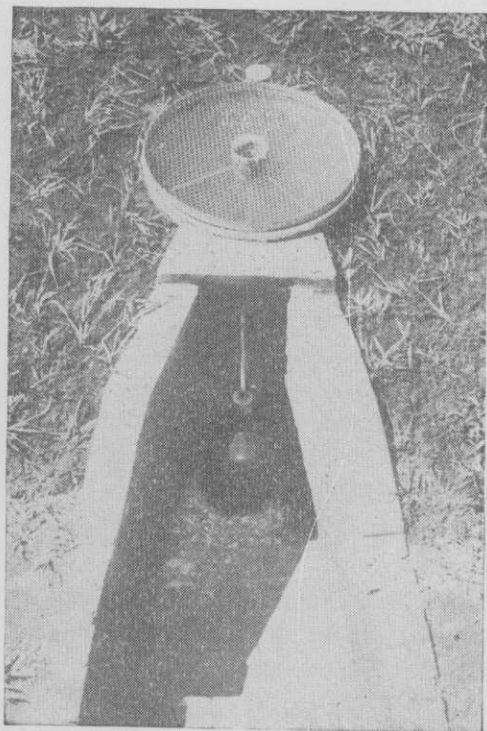


FIGURA 6. — Vista do evaporímetro instalado e em operação, vendo-se a escada de acesso para coleta da água do garrafão.

**Local da Estação:** Instituto Agrônomo, Estação Experimental Central

**Cidade:** Campinas, Estado de São Paulo

**Ano:** 1958

**Mês:** Novembro

**Hora da Observação:** 7h, 15m

Dia da observação	Volume de Água				Intervalo dias	Evaporação			Dia da ocorrência
	Reposta $V_a$	Precipitada		Recolhida $V_r$		Volume total $V_e$	Altura total $h_e$	Altura diária $h_d$	
		$V_e$	$h_e$						
1	ml	ml	ml	ml	ml	ml	mm	mm	31
2	—	—	—	—	—	—	—	4,4*	2
3	4.000	—	—	300	3	3.700	13,2*	4,4*	1
4	3.000	791	2,8	1.250	1	2.541	9,0	9,0	3
5	2.000	—	—	1.270	1	730	2,6	2,6	4
6	—	—	—	—	—	—	—	6,6*	5

**Observação:** Os valores da evaporação diária,  $h_d$  milímetros, marcados com asteriscos, são valores médios obtidos dividindo-se a evaporação total,  $h_e$  milímetros, pelo intervalo em dias entre as observações

A fim de evitar a necessidade de efetuar cálculos para a medida da evaporação, no quadro 2 apresentamos os valores de  $h_e$  em função do volume de água evaporada, eliminando assim o ítem f atrás, que poderia ser apontado como um inconveniente específico do novo evaporímetro.

## 2.7 — POSSIBILIDADE DE EMPRÊGO DO EVAPORÍMETRO IA-58 NO CONTRÔLE DE IRRIGAÇÃO

Últimamente, numerosos métodos e aparelhos vêm sendo aperfeiçoados para emprêgo na interpretação climática e contrôle da irrigação. Alguns dêles baseiam-se na medida do teor de umidade, ou na condição física da água do solo, e outros na capacidade evaporante do ar, sôbre uma superfície porosa constantemente umedecida. Todos êsses métodos e processos estão sendo objeto de pesquisas em departamentos especializados, de diversos países. Alguns dêsses métodos estão sendo pesquisados no Instituto Agrônômico, seja para análise climática, seja para finalidade de contrôle de irrigação.

Com relação às possibilidades de emprêgo do evaporímetro IA-58, visando às finalidades acima, os estudos necessários estão em progresso na Seção de Irrigação do Instituto Agrônômico. Serão comparados dados de evaporação com os dados de consumo de água da planta, obtidos pelo método direto de amostragem periódica do solo, para diversas culturas, em diversas regiões do Estado. Êsse método direto está sendo suficientemente aperfeiçoado, a fim de poder ser considerado como o método padrão, pois que servirá de termo de comparação aos demais.

Para a finalidade de comparação de resultados, é possível estudar variações no tipo de evaporímetro, para torná-lo mais prático, como reduzir o tamanho, modificar a proporção entre diâmetro e profundidade, deixar de enterrá-lo, colocando-o mesmo em posição elevada do solo, a fim de facilitar a reposição de água. Em qualquer caso, sômente as comparações com os resultados de consumo de água, obtidos por meios diretos, poderá indicar a utilidade do emprêgo do evaporímetro para aplicação em contrôle de irrigação. Será possível também, uma comparação com os resultados de métodos indiretos, cuja precisão já seja conhecida para aquela finalidade.

Caso os resultados venham a recomendar o emprêgo do evaporímetro para o contrôle de irrigação, será possível então, baseados em estudos comparativos, estabelecer para certas culturas irrigadas, de interêsse, em cada tipo específico de solo, um nível inferior de água, no tanque do evaporímetro, que indique a necessidade imediata da irrigação. Aplicar-

-se-ia então uma quantidade de água que correspondesse aos milímetros de altura para a elevação do nível, até à posição de equilíbrio do menisco, acrescida da quantidade necessária para atender às perdas inevitáveis, que ocorrem durante a aplicação da água, e peculiares aos métodos de irrigação e à técnica irrigatória.

Apesar da aparente utilidade do evaporímetro para a finalidade de contróle da irrigação, não se deve considerá-lo como processo infalível nem exagerar seu aspecto prático, porquanto será sempre possível, para determinadas condições específicas, o desenvolvimento de processos expeditos, independentemente de qualquer aparelhamento, os quais, coadjuvados pelo senso de observação do irrigador, provam ser de valor inestimáveis na prática da irrigação. Tais métodos têm sido também objeto de estudos comparativos pela Seção de Irrigação, do Instituto Agrônomico, e servirão de base para o desenvolvimento de guias práticos de contróle de irrigação, específicos para cada tipo de solo e culturas de interesse econômico.

### 3 — CONCLUSÕES

a) A análise matemática do princípio de funcionamento do novo evaporímetro revela que o mesmo assenta sôbre base física sólida, ao abrigo de qualquer crítica.

b) O efeito da temperatura, mesmo para o intervalo amplo de 0 a 50°C, de variação da temperatura da água, no tanque do evaporímetro, tem influência muito pequena sôbre os resultados das observações, dispensando-se a correção por efeito da temperatura.

c) O funcionamento do evaporímetro é suficientemente preciso para permitir observações diárias da evaporação, por processo volumétrico, de extrema simplicidade.

d) A análise das fontes de êrro a que estão sujeitas as observações revela que, evitando-se a interferência do vento durante as observações, o êrro fica na dependência do tempo decorrido desde a reposição da água até à coleta da água extravasada no garrafão, demonstrando-se ser insignificante após decorridos 12 minutos.

e) Devido ao nível da água no evaporímetro ser automaticamente restabelecido ao fim de cada observação, não há possibilidade de haver, neste tipo de evaporímetro, acumulação de erros, o que não acontece com os tipos convencionais de evaporímetros.

f) A simplicidade de operação e a exatidão do novo evaporímetro justificam plenamente a recomendação de seu uso em lugar dos evaporímetros convencionais.

## A NEW TYPE OF EVAPORIMETER

## SUMMARY

In this paper is described a new type of evaporimeter, the principle of operation of which is based on physical laws governing the surface tension phenomenon.

The measurement of evaporation in the new evaporimeter, described as Evaporimeter IA-58, is made by simple volumetric procedure, thus avoiding the use of precise and expensive mechanisms.

A mathematical analysis of the principle of operation is made, and proves that the new evaporimeter can offer satisfactory results for practical use.

The operation of the new evaporimeter is very simple, since only volumetric measurements are made, with a graduated cylinder of 1000 ml, both of the added water to restore the water level to the same initial level and the outflow or excess water.

It is believed that enough details are given to allow the understanding of the construction, installation and operation of the new evaporimeter, so that interested persons or organizations could have the model reproduced and verify the advantage of its use.

## LITERATURA CITADA

1. BLANEY, H. F. & CRIDDLE, W. D. Determining water requirements in irrigated areas, from climatological and irrigation data. Washington, U. S. D. A., 1950. 48 p. (SCS-TP-96)
2. BLOODGOOD, DEAN W., PATTERSON, R. E. & SMITH R. L. (Jr.), Water evaporation studies in Texas. College Station Texas Agricultural Experiment Station. 1954. 83 p. (Bulletin 787)
3. Handbook of chemistry and physics. New York, Chemical Rubber Publishing Company, 1945. 29th Edition. 1678 p.
4. HICKOX, G. H. Evaporation from a free water surface. New York, American Society of Civil Engineers, 1946. [p.?] (Paper n.º 2266)
5. MATHER, J. R. Manual of Evapotranspiration. Seabrook, N. J., The Johns Hopkins University, Laboratory of Climatology, 1950. 29 p.
6. PENMAN, H. L. Evaporation — An Introductory Survey. Nether. J. Agric. Sci. 4(1):9-29. 1956.
7. ROBLES, RAMON MORENO. Instrutivo para a operação de estaciones climatológicas. Mexico, Secretaria de Recursos Hidraulicos, Departamento de Hidrometria, 1952. 50 p.
8. SEARS, F. W. Principles of physics. I — Mechanics, heat and sound. Cambridge, Mass., Addison-Wesley Press, Inc., 1946. p. 300-323.
9. THORNTHWAITTE, C. W. & MATHER, J. R. The water balance. Centerton, N. J., Drexell Institute of Technology, 1955. 104 p. (Publications in Climatology, VIII, n.º 1)