

CONTRIBUIÇÃO PARA O CÁLCULO AUTOMÁTICO DO BALANÇO HÍDRICO SEGUNDO THORNTHWAITE & MATHER

ANTÔNIO FAUSTINO CAVALCANTI
DE ALBUQUERQUE NETO
Prof. Assistente do Dep. de Tecnologia
Rural da UFRPE.

Contribuição para o cálculo automático do balanço hídrico segundo THORNTHWAITE & MATHER.

INTRODUÇÃO

Uma das grandes preocupações daqueles que lidam com os problemas da relação solo/água/planta é quantificar a necessidade de água para uma determinada espécie vegetal, levando-se em consideração o tipo do solo e as condições climáticas.

O Balanço Hídrico de uma camada de solo pode ser estabelecida pela seguinte equação:

$$\text{Precipitação} + \text{Irrigação} = \text{Variação da umidade do solo} + \text{Evapotranspiração} + \text{Percolação} + \text{Deflúvio Superficial.}$$

Todos os termos desta igualdade podem ser medidos no campo, com exceção da evapotranspiração que será a incógnita da equação. Para tal, faz-se necessário, além da quantificação da água proveniente da precipitação e irrigação determinar a umidade do solo em intervalos de tempo sucessivos e daí se obter os valores de variação da umidade do solo e da percolação e ainda concentrar a água do escoamento superficial num ponto, se isto naturalmente não for proporcionado pelas condições físicas do local, e medir o deflúvio.

Este procedimento apresenta como vantagem, além de determinar a evapotranspiração nas condições naturais, conhecer o movimento da água sobre e dentro do solo, todavia, os métodos de medida de umidade do solo, ainda apresentam certas limitações, principalmente para as rotinas de campo exigindo o emprego de equipamentos, cuja operação obriga a presença de pessoal qualificado, não sendo, portanto, recomendado determinar o Balanço Hídrico, através deste modelo, quando se deseja apenas uma estimativa da deficiência e excesso hídrico, para fins de planejamento do uso da água ou para caracterização climática de uma região.

A partir do momento em que a evapotranspiração potencial* pode ser estimada com boa precisão, utilizando-se os métodos aerodinâmicos, o balanço de energia e mesmo certas fórmulas empíricas; calcadas, principalmente, em observações sobre lisímetros, o método meteorológico apresentado por THORNTHWAITE & MATHER⁴ apesar de, englobar a percolação e o deflúvio superficial numa só parcela, chamada de excesso de água, controlar a variação da umidade do solo a partir de resultados de observações em lisímetros, onde as condições naturais do solo não são resguardados no seu todo e superestimar a necessidade de água para a planta, oferece simplicidade, apresentando-se como um indicador de razoável precisão na estimativa dos elementos que compõem o Balanço Hídrico de um solo e vem sendo utilizado, em todo o mundo, há bastante tempo resolvendo problemas no campo do zoneamento agrícola, da aclimação das espécies exóticas, da estimativa do período e da quantidade de água para irrigação, da classificação climática, etc.

ROTEIRO PARA O CÁLCULO

A água proveniente da precipitação ou irrigação são as fontes de suprimento hídrico e a evapotranspiração representa as perdas de água do sistema solo/planta. O solo será um reservatório de água para uso das plantas. O teor de umidade neste reservatório varia desde uma quantidade em que a água preenche todos os vazios do solo, conhecida como Capacidade máxima de retenção de água, até o coeficiente higroscópico que é a umidade máxima que um solo inicialmente seco pode absorver em contato com uma atmosfera de 50% de umidade relativa a 25°C. No intervalo entre esses valores, dois estágios de umidade do solo são característicos — a capacidade de campo que é definida como a quantidade de água presa no solo depois que o excesso de água gravitacional tenha sido drenado e o ponto de murchamento permanente que é o teor de umidade no qual ocorrem permanentes definhamentos das plantas. Uma vez que a capacidade de campo e o ponto de murchamento permanente representam, respectivamente, os limites superior e inferior da umidade para o crescimento dos vegetais, a diferença entre esses pontos é a água disponível para o crescimento das plantas. Quando o solo encontra-se na capacidade máxima de retenção de água **, que daqui por diante vamos denominá-la de armazenamento máximo, ocorrendo uma precipitação (P) maior que a evapotranspiração potencial (E), esta consome parte da precipitação e o restante torna-se excesso de água. No caso de (P) ser menor que (E), esta além de consumir toda a água precipitada, usa a água do solo e se a quantidade de água retirada não for suficiente para complementar o valor e (E), a evapotranspiração não ocorrerá mais numa quantidade igual a potencial e sim num valor menor conhecido como evapotranspiração real ou efetiva, dada pela soma da precipitação e da quantidade de água retirada do

* A evapotranspiração potencial é o elemento climático definido como a quantidade de água que pode ser perdida através da evaporação ou transpiração, de uma superfície de solo completamente coberta de vegetação, se no solo, durante todo tempo, houver água disponível, sem restrição, para o uso requerido pela vegetação.

** Quando, anteriormente, afirmou-se que este método superestima a necessidade de água para as plantas é exatamente, porque o termo “água disponível sem restrição” evocada na definição da evapotranspiração potencial, diz respeito a uma quantidade de água no solo igual a capacidade máxima de retenção de água ou armazenamento máximo e não da capacidade de campo.

solo e começará a surgir deficiência de água, calculada pela diferença entre a evapotranspiração potencial e real. Quando o armazenamento de água no solo não for máximo e ocorrer uma precipitação maior que a evapotranspiração potencial, a evapotranspiração será a nível da potencial, a deficiência de água cessa, o solo recupera umidade, podendo chegar ao armazenamento máximo se as condições de suprimento de água for suficiente.

A quantidade de água retirada do solo após um período ou uma seqüência de sucessivos períodos, onde (P-E) seja negativo, fornece evidentemente o armazenamento atual de água do solo. A relação existente entre os armazenamento da água e a diferença acumulada (P-E) foi obtida experimentalmente por THORNTHWAITE & MATHER² a partir de observações em tanques lisimétricos. Como já foi salientado, quando o solo encontra-se no estado de armazenamento máximo, a evapotranspiração ocorre a nível de potencial, porém na medida em que o solo vai secando, torna-se mais difícil a perda de água provocada pela evapotranspiração, não sendo portanto esta relação linear.

Apresenta-se, em papel serilogarítmico, no gráfico 1, as curvas que exprimem esta relação para diversos armazenamentos máximo da água, no solo, 300, 150, 125, 100 e 50 mm. Cada reta pode ser expressa matematicamente pela seguinte equação:

$$\log A = \log AR - H.N \quad (1)$$

Sendo: A – o armazenamento atual de água do solo
 AR – o armazenamento máximo de água
 H – coeficiente angular da reta
 N – as diferenças acumuladas entre P-E

Da equação (1) podemos ter ainda:

$$N = \frac{\log AR - \log A}{H} \quad (2)$$

Observa-se que os coeficientes angulares das referidas retas, ajustam-se aos armazenamentos máximo de água (gráfico 2) seguindo a equação:

$$H = \frac{0,50344}{AR^{1,02422}} \quad (3)$$

e daí, será possível determinar para qualquer armazenamento máximo a relação que fornece o armazenamento atual da água no solo em função de (P-E) acumulado.

Mesmo no estado de extrema deficiência hídrica, o solo mantém um teor de umidade, conhecida como coeficiente higroscópico. A diferença acumulada entre (P-E) não esgotará por completo a água do solo. A partir de um determinado valor negativo de (P-E), o armazenamento atual da água do solo, permanecerá constante.

O quadro 1 pode auxiliar na escolha tanto do valor mínimo (AM) de água que

pode estar contida num solo, como do armazenamento máximo, ambos função do tipo de solo e da profundidade das raízes.

Portanto, para o cálculo de balanço hídrico, faz-se necessário conhecer, além dos valores acima referidos, a precipitação e a evapotranspiração potencial do lugar.

A partir desses dados, numa escala de tempo pré-estabelecida, determina-se, no final de cada período, a diferença entre P e E, o armazenamento da água no solo (A), a alteração da água no solo (AL), a evapotranspiração real (R), a deficiência de água (D) e o excesso de água (X).

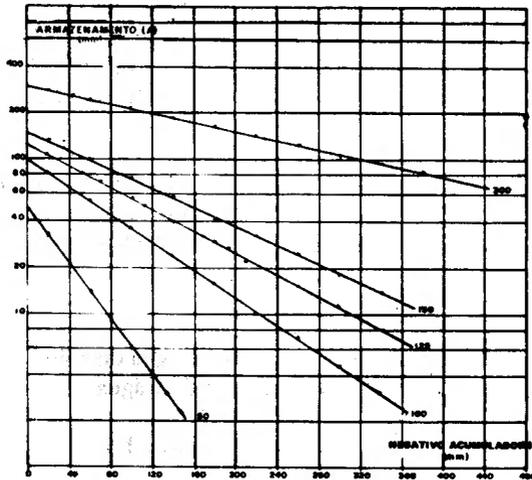


Gráfico 1 – Relações entre o armazenamento e o negativo acumulado

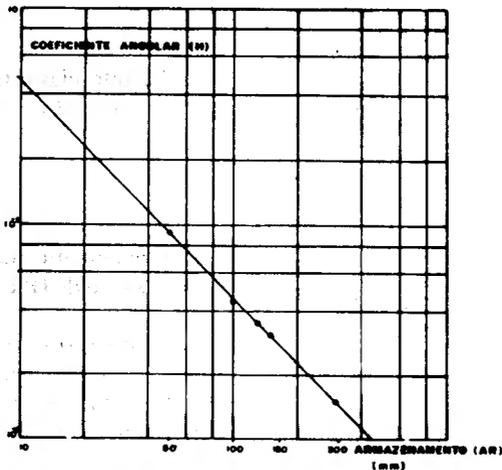


Gráfico 2 – Relações entre o coeficiente angular e o armazenamento

Quadro 1 – Armazenamento máximo e mínimo de água, para diferentes combinações de solo e vegetação

TIPO DE SOLO	Água Disponível mm/m	Coefficiente Higroscópico mm/m	Profundidade das Raízes m	Armazenamento máximo de água mm	Armazenamento mínimo de água mm
CULTURAS DE RAÍZES SUPERFICIAIS					
Areia Fina	100	8	0,50	50	8
Franco Arenoso	150	18	0,50	75	9
Franco Limoso	200	28	0,60	120	17
Franco Argiloso	250	36	0,40	100	15
Argiloso	300	55	0,25	75	14
CULTURAS DE RAÍZES DE PROFUNDIDADE MODERADA					
Areia Fina	100	8	0,75	75	6
Franco Arenoso	150	18	1,00	150	18
Franco Limoso	200	28	1,00	200	28
Franco Argiloso	250	36	0,80	200	28
Argiloso	300	55	0,50	150	28
CULTURAS DE RAÍZES PROFUNDAS					
Areia Fina	100	8	1,00	100	8
Franco Arenoso	150	18	1,00	150	18
Franco Limoso	200	28	1,25	250	35
Franco Argiloso	250	36	1,00	250	36
Argiloso	300	55	0,65	195	36
ÁRVORES FRUTÍFERAS					
Areia Fina	100	8	1,50	150	12
Franco Arenoso	150	18	1,67	250	30
Franco Limoso	200	28	1,50	300	42
Franco Argiloso	250	26	1,00	250	36
Argiloso	300	55	0,65	195	36
FLORESTA ADULTA FECHADA					
Areia Fina	100	8	2,50	250	20
Franco Arenoso	150	18	2,00	300	36
Franco Limoso	200	28	2,00	400	56
Franco Argiloso	250	36	1,60	400	58
Argiloso	300	55	1,20	360	66

O INTERVALO DE TEMPO

O balanço hídrico pode ser calculado para qualquer intervalo de tempo, diário, semanal, mensal etc, utilizando-se, evidentemente, os valores diários, semanais ou mensais da precipitação e evapotranspiração potencial, para um período que pode estender-se a vários anos. Esse balanço poderá ser chamado de balanço hídrico seqüencial

diário, semanal, mensal etc; todavia, o balanço hídrico mensal normal calculado com as normais da precipitação e evapotranspiração potencial é largamente mais difundido, porque no seu cálculo, além de não apresentar as dificuldades inerentes ao conhecimento das condições iniciais de umidade do solo, que deve ser prevista para o cálculo do balanço hídrico seqüencial em qualquer escala de tempo, consegue através dos valores normais de deficiência e excesso de água fornecer razoáveis informações para que se possa planejar adequadamente, no tempo e no espaço, a utilização dos recursos hídricos, aplicados principalmente à agricultura.

A INICIAÇÃO DO CÁLCULO

Uma pergunta que é feita com muita freqüência por parte daqueles que calculam o balanço hídrico, é: em qual mês do ano deve ser iniciado o cálculo de balanço hídrico mensal normal?

Uma resposta pareceria ser óbvia: o mês de janeiro, entretanto, é bom lembrar como o balanço é calculado com dados das normais mensais, deve haver no final de um período de 12 meses um equilíbrio da água que chega no solo via precipitação e dele é retirada via evapotranspiração. Algumas relações regulam esse equilíbrio, como por exemplo: $\Sigma E = \Sigma R + \Sigma D$ ou $\Sigma P = \Sigma R + \Sigma X$ ou ainda $\Sigma ALT = 0$. Quando se descreve o roteiro do cálculo do balanço hídrico inclui-se o aspecto do solo encontrar-se ou não com armazenamento máximo da água. Isto é verificado, observando-se o armazenamento do último período calculado. Portanto, para início dos cálculos do balanço hídrico, tem-se que estimar o armazenamento do mês que antecederá aquele, onde será iniciado o cálculo e como não poderá deixar de ser, para que os cálculos não sejam reciclados por várias vezes, até ocorrer o equilíbrio, o mês escolhido será aquele que apresentar maior valor relativo, entre a diferença de P e E.

A pergunta agora volta-se para o valor que deve ser atribuído a esse armazenamento. Deve ser eleito o armazenamento máximo, escolhido em função do tipo de solo e profundidade das raízes. Pode ocorrer que as condições climáticas locais, jamais coloquem o solo na capacidade máxima de armazenamento de água. O roteiro do cálculo prevê esse aspecto e recicla o cálculo até o equilíbrio. O controle é realizado, verificando se o armazenamento atual da água do solo, calculado para o décimo segundo mês é igual ao armazenamento estimado, ou já calculado, se um ciclo de cálculo já tenha sido realizado.

A AUTOMATIZAÇÃO DO CÁLCULO

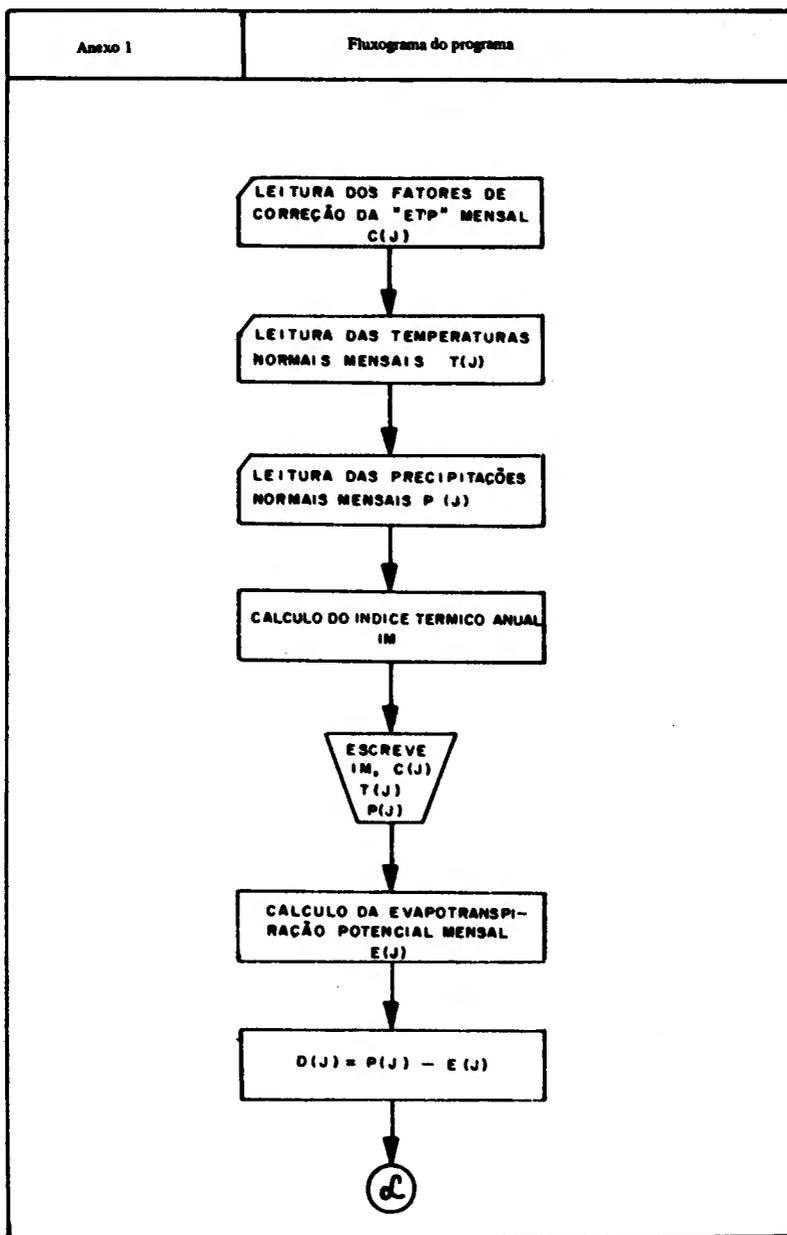
O presente trabalho ocupa-se de automatização do cálculo do balanço hídrico mensal normal. O fluxograma do cálculo encontra-se no anexo 1 (pág. 110). Antes do cálculo do balanço hídrico, propriamente dito é calculada a evapotranspiração que juntamente com a precipitação e o armazenamento máximo são as fontes de dados para o cálculo do balanço hídrico. Para a determinação da evapotranspiração potencial mensal foi utilizado o método de THORNTHWAITE & MATHER⁴ cuja descrição encontra-se no anexo 2 (Pág. 115). O programa foi escrito na linguagem BASIC e operado num computador COMODORE. PET.

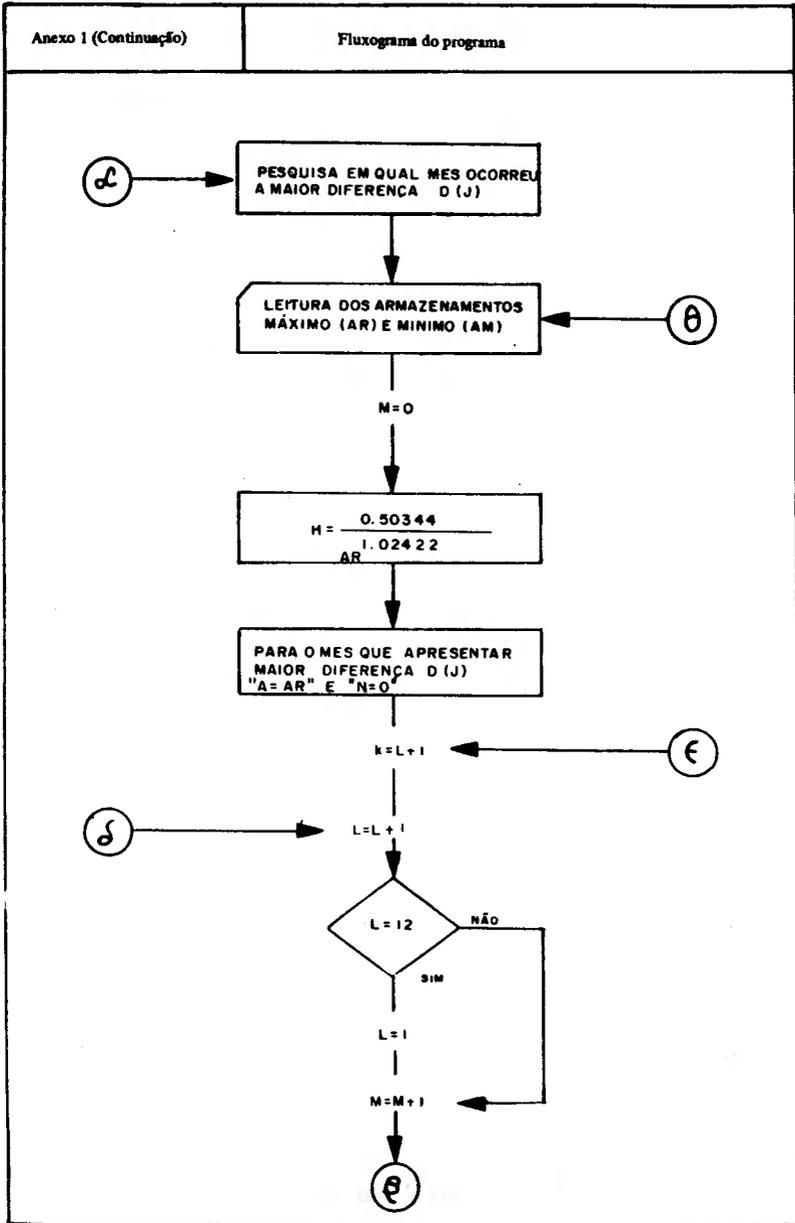
A listagem do programa está contida no anexo 3 (pág. 116) e um exemplo de entrada e saída é apresentado no anexo 4 (pág. 119).

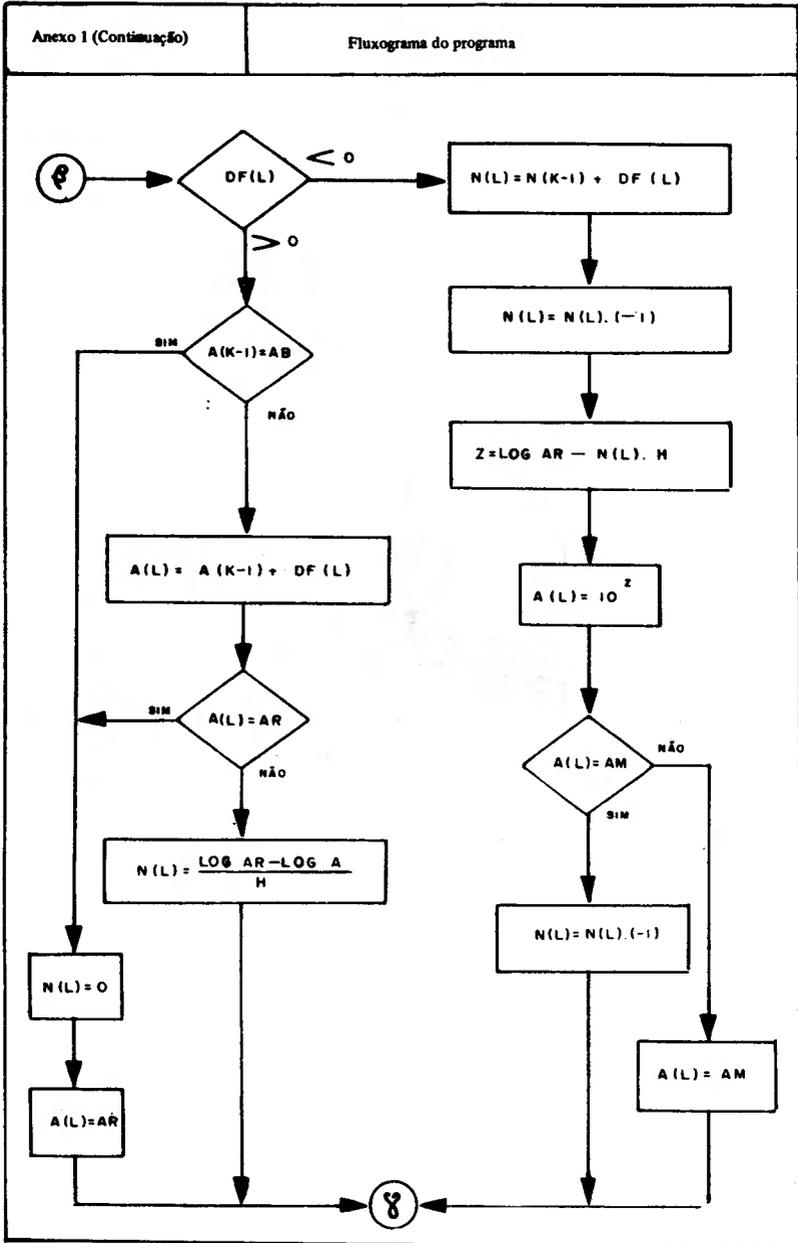
ABSTRACT

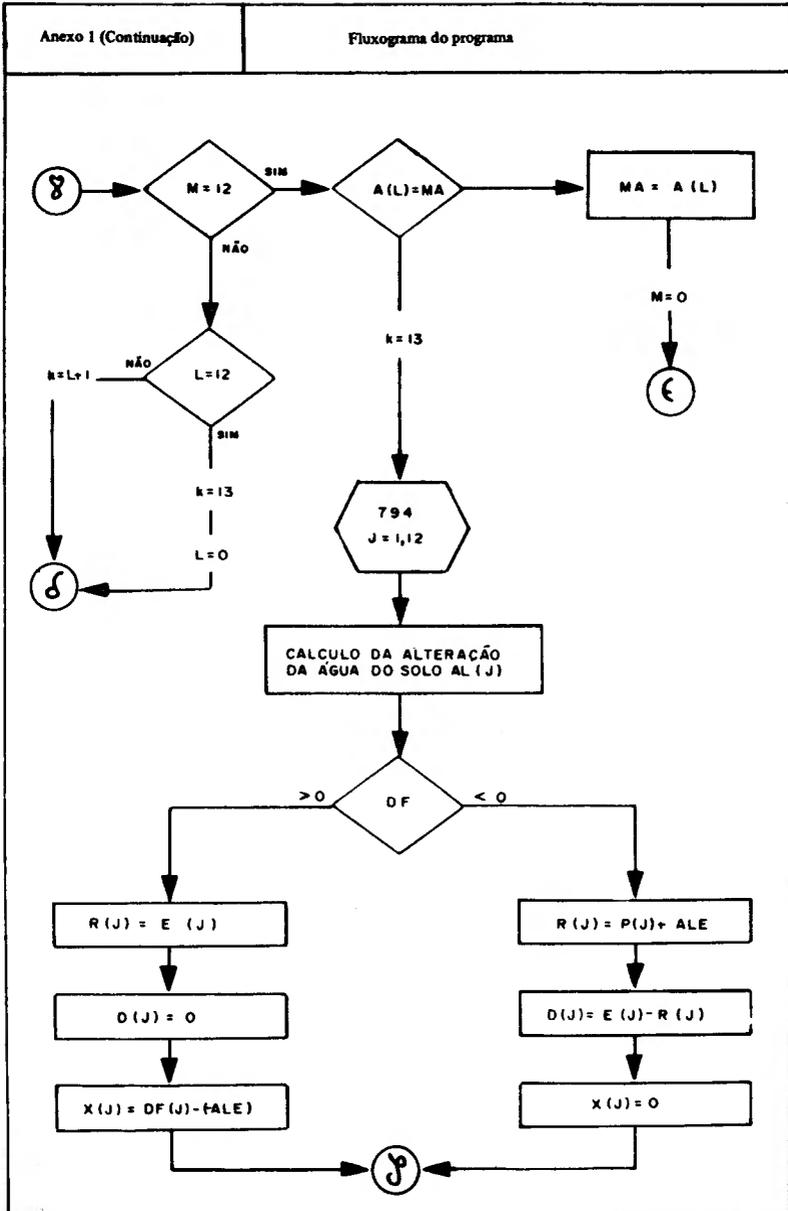
Contribution to the THORNTHWAITE-MATHER model regarding to the computation of crop water balance, automatically.

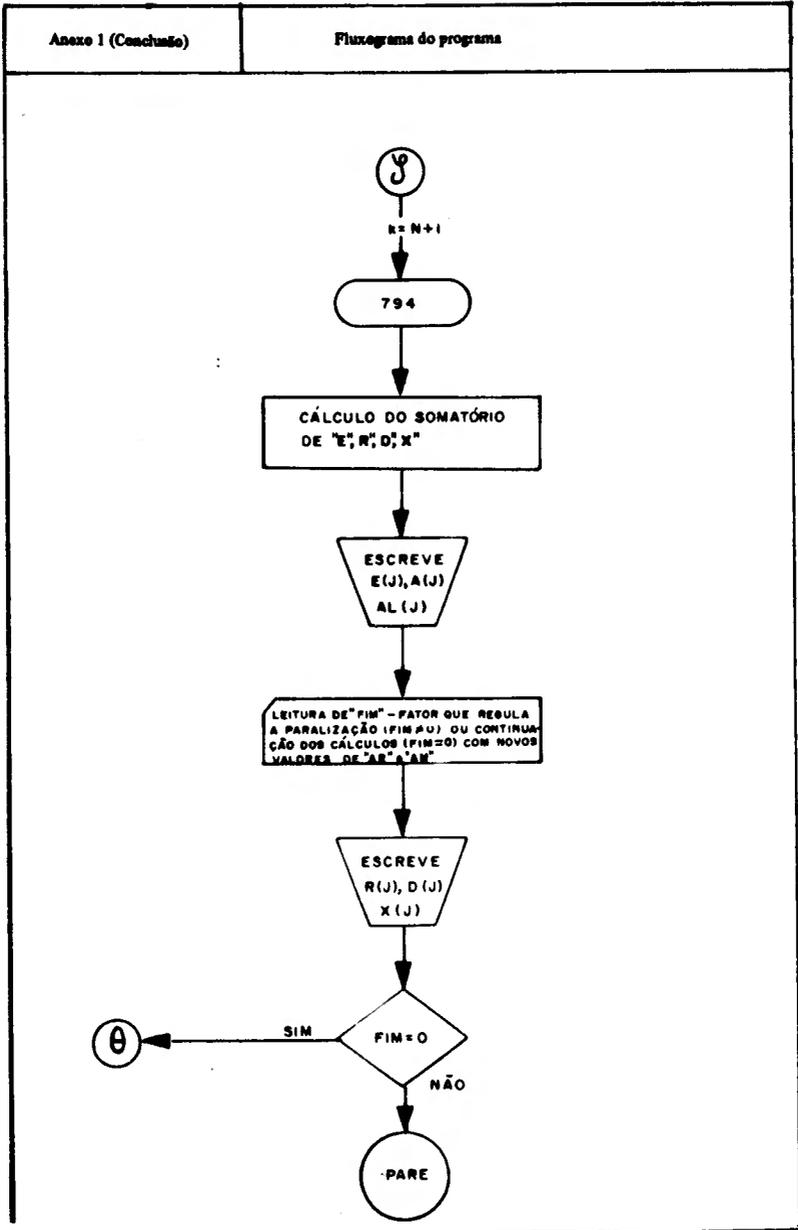
ANEXOS











THORNTHWAITE & MATHER⁴ apresentou a seguinte fórmula para estimar a evapotranspiração potencial:

$$E = 16 \left(\frac{10T}{IM} \right)^a$$

onde: E – evapotranspiração potencial em mm, calculada para um mês de 30 dias de doze horas por dia.

T – temperatura média mensal em °C.

IM – índice térmico anual, definido como a soma dos índices (i) mensais:

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

a – constante que varia com o lugar, sendo:

$$a = 0,675 \cdot 10^{-6} \cdot I^3 - 0,771 \cdot 10^{-4} \cdot I^2 + 1,792 \cdot 10^{-2} + 0,49239$$

A evapotranspiração potencial é corrigida para a duração real do dia, através de um coeficiente obtido na tabela abaixo em função da localidade e do mês.

Latitude	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
5°	1,06	0,95	1,04	1,00	1,02	0,99	1,02	1,03	1,00	1,05	1,03	1,06
10°	1,08	0,97	1,05	0,99	1,01	0,96	1,00	1,01	1,00	1,06	1,05	1,10
15°	1,12	0,98	1,05	0,98	0,98	0,94	0,97	1,00	1,00	1,07	1,07	1,12
20°	1,14	1,00	1,05	0,97	0,96	0,91	0,95	0,99	1,00	1,08	1,09	1,15
22°	1,14	1,00	1,05	0,97	0,95	0,90	0,94	0,99	1,00	1,09	1,10	1,16
23°	1,15	1,00	1,05	0,97	0,95	0,89	0,94	0,98	1,00	1,09	1,10	1,17
24°	1,16	1,01	1,05	0,96	0,94	0,89	0,93	0,98	1,00	1,10	1,11	1,17
25°	1,17	1,01	1,05	0,96	0,94	0,88	0,93	0,98	1,00	1,10	1,11	1,18
26°	1,17	1,01	1,05	0,96	0,94	0,87	0,92	0,98	1,00	1,10	1,11	1,18
27°	1,18	1,02	1,05	0,96	0,93	0,87	0,92	0,97	1,00	1,11	1,12	1,19
28°	1,19	1,02	1,06	0,95	0,93	0,86	0,91	0,97	1,00	1,11	1,13	1,20
29°	1,19	1,03	1,06	0,95	0,92	0,86	0,90	0,96	1,00	1,12	1,13	1,20
30°	1,20	1,03	1,06	0,95	0,92	0,85	0,90	0,96	1,00	1,12	1,14	1,21
31°	1,20	1,03	1,06	0,95	0,91	0,84	0,89	0,96	1,00	1,12	1,14	1,22
32°	1,21	1,03	1,06	0,95	0,91	0,84	0,89	0,95	1,00	1,12	1,15	1,23
33°	1,22	1,04	1,06	0,94	0,90	0,83	0,88	0,95	1,00	1,13	1,16	1,23
34°	1,22	1,04	1,06	0,94	0,89	0,82	0,87	0,94	1,00	1,13	1,16	1,24
35°	1,23	1,04	1,06	0,94	0,89	0,82	0,87	0,94	1,00	1,13	1,17	1,25

Anexo 3	Listagem do programa
	<pre> 10 DIM T(12), C(12), P(12), I(12), E(12), DF(12), D(12) 12), D(12), A(12), N(12), X(12), R(12), AL(12) 30 FOR J = 1 TO 12 40 READ C(J) 50 NEXT J 69 TP = 0 70 FOR J = 1 TO 12 80 READ T(J) 81 TP = TP + T(J) 90 NEXT J 91 TP = TP / 12 92 TP = TP * 10 93 TP = INT (TP) 94 TP = TP / 10 109 PR = 0 110 FOR J = 1 TO 12 120 READ P(J) 121 PR = PR + P(J) 130 NEXT J 140 IM = 0 150 FOR J = 1 TO 12 160 I(J) = T (J) / 5 170 I (J) = 1 (J) ↑ 1.514 180 IM = IM + I (J) 190 NEXT J 191 PRINT " 192 PRINT " ÍNDICE TÉRMICO = " 193 PRINT " 194 PRINT "MES", COEF", "TEMP", "PREC" 195 FOR 5 1 TO 12 196 PRINT J, C(J), T(J), P(J) 197 NEXT J 198 PRINT "ANO", "-- --", TP, PR 200 FOR J = 1 TO 12 210 G = 10 . T(J) 220 A = 0,675 * 10 ↑ (-6) * IM ↑ 3 230 B = 0,771 * 10 ↑ (-4) * IM ↑ 2 240 C = 1,792 * 10 ↑ (-2) * IM 245 L = A - B + C + 0,49239 246 E (J) = (G / IM) ↑ L 247 E (J) = 16 * E (J) 251 E (J) = E (J) *C (J) 260 E (J) = E (J) * 10 </pre>

Anexo 3 (Continuação)	Listagem do Programa
592	A (L) = AM
595	N (L) = N (L) * (-1)
600	IF M = 12 GO TO 636
605	IF L = 12 GO TO 620
610	K = L + 1
615	GO TO 463
620	L = 0
625	K = 13
630	GO TO 463
636	IF A (L) = MA GO TO 690
640	MA = A (L)
645	M = 0
646	GO TO 462
690	K = 13
699	ALT = 0
700	FOR J = 1 TO 12
701	ALE = A (J) - A(K - 1)
702	A (J) = ALE
711	ALT = ALT + AL(J)
720	ALE = AL (J) * (-1)
730	IF DF (L) < 0 GO TO 780
731	W = E (J)
740	R (J) = W
750	D (J) = 0
760	X (J) = DF (J) - (-ALE)
761	X (J) = INT (X (J))
770	GO TO 793
780	R (J) = P (J) + ALE
790	D (J) = E (J) - R (J)
791	D (J) = INT (D (J))
792	X (J) = 0
793	K = J + 1
794	NEXT J
803	EP = 0
804	ER = 0
805	DH = 0
806	EH = 0
807	FOR J = 1 TO 12
808	EP = EP + E(J)
809	DH = DH + D(J)
810	EH = EH + X(J)
811	ER = ER + R(J)
812	NEXT J
813	PRINT " "
814	PRINT "MÊS", "ETP", "ARM", "ALT"
815	FOR J = 1 TO 12

Anexo 3 (Continuação)	Listagem do programa
270	$E(J) = \text{INT}(E(J))$
280	$E(J) = (E(J) / 10)$
290	NEXT J
346	FOR J = 1 TO 12
247	$DF(J) = P(J) - E(J)$
348	NEXT J
349	L = 1
350	AX = DF(1)
351	FOR J = 2 TO 12
352	IF AX > DF(J) GO TO 355
353	AX = DF(J)
354	L = J
355	NEXT J
366	PRINT "ARMAZENAMENTO MÁXIMO
367	INPUT AR
368	PRIN "ARMAZENAMENTO MÍNIMO
369	INPUT AM.
439	$H = 0,50344 / (\text{AR} \uparrow (1,02422))$
440	M = 0
450	MA = AR
460	A(L) = MA
461	N(L) = 0
462	K = L + 1
463	L = L + 1
464	IF L > 12 GO TO 466
465	GO TO 473
466	L = 1
473	M = M + 1
490	IF DF(L) < 0 GO TO 555
599	IF A(K-1) = AR GO TO 544
510	$A(L) = A(K - 1) + DF(L)$
520	IF A(L) > AR GO TO 544
530	G = A(L)
540	$N(L) = ((\text{LOG}(\text{AR}) - \text{LOG}(G)) / 2.303) / H$
541	$N(L) = N(L) \times (-1)$
542	$N(L) = \text{INT}(N(L))$
543	GO TO 600
544	N(L) = 0
545	A(L) = AR
550	GO TO 600
555	$N(L) = N(K - 1) + DF(L)$
560	$N(L) = N(L) * (-1)$
580	$Z = (\text{LOG}(\text{AR}) / 2.303) - (H * N(L))$
585	$A(L) = 10 \uparrow Z$
590	$A(L) = \text{INT}(A(L))$

Anexo 3 (Conclusão)

Listagem do programa

```

816 PRINT J, E(J), A(J), AK(J)
817 NEXT J
818 PRINT "ANO", EP, " - - -", ALT
819 IN PUT FIM
820 PRINT "_____ "
821 PRINT "MES", "ETR", "DEF", "EXC".
830 FOR J = 1 TO 12
841 PRINT J, R(J), D(J), X(J)
850 NEXT J
851 PRINT "ANO", ER, DH, EH
860 IF FIM = 0 GO TO 366
870 END

```

Anexo 4

Entrada e saída dos dados

**LOCALIDADE
ESCADA**

**ESTADO
PE**

20 DATA 1.07,0.96,1.04,0.99,1.01,0.96,1.00,1.01,1.00,1.05,1.04,1.08
60 DATA 30.7,30.5,30.6,29.6,28.2,27.2,26.7,26.8,27.7,29.5,30.9,30.8
100 DATA 92,118,152,218,306,318,251,161,103,30,43,75

ÍNDICE TÉRMICO = 172

MÊS	COEF	TEMP	PREC
1	1.07	30.7	92
2	0.96	30.5	118
3	1.04	30.6	152
4	0.99	29.6	218
5	1.01	28.2	306
6	0.96	27.2	318
7	1.00	26.7	251
8	1.01	26.8	161
9	1.00	27.7	103
10	1.05	29.5	30
11	1.04	30.9	43
12	1.08	30.8	75
ANO	—	29.1	1867

Anexo 4 (Conclusão)

Entrada e saída dos dados

ARMAZENAMENTO MÁXIMO

100

ARMAZENAMENTO MÍNIMO

8

MÊS	ETP	ARM	ALT
1	265	8	0
2	230	8	0
3	254	8	0
4	206	20	12
5	167	100	80
6	133	100	0
7	127	100	0
8	131	100	0
9	151	60	-40
10	215	8	-52
11	266	8	0
12	272	8	0
ANO	2417	—	0

MÊS	ETR	DEF	EXC
1	92	172	0
2	118	112	0
3	152	102	0
4	206	0	0
5	167	0	59
6	133	0	185
7	127	0	124
8	131	0	30
9	143	8	0
10	82	133	0
11	43	223	0
12	75	197	0
ANO	1469	947	398

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 – BEAR, Firman E. Soil water. In: —. *Soils in relation to crop growth*. Huntington, R. E. Krieger, 1977. cap. 8, p. 74-5.
- 2 – BUCKMAN, Harry O. & BRADY, Nyle C. Forms of soil water, their movement, and their plant relationships. In: — & —. *The nature and properties of soils*. 7. ed. London, MacMillan, 1970. cap. 7, p. 170.
- 3 – MOTA, Fernando Silveira da. Aspectos agrometeorológicos da água na atmosfera. In: —. *Meteorologia agrícola*. São Paulo, Nobel, 1975. p. 243-318.
- 4 – THORNTHWAITTE, C. W. & MATHER, J. R. *The water balance*. Centerton, Laboratory of Climatology, 1955.