

## Capítulo 02

### Balanço Hídrico pelo método de *Thornthwaite-Mather*, 1955

## SUMÁRIO

Ordem	Assunto
2.1	Introdução
2.2	Balanço hídrico pelo método de <i>Thornthwaite-Mather</i> , 1955
2.3	Conclusão
2.4	Bibliografia e livros consultados

**8 páginas**

## Capítulo 02 –Balanço Hídrico pelo método de *Thornthwaite-Mather*, 1955

### 2.1 Introdução

Vamos explicar o método de *Thornthwaite-Mather*, 1955 conforme apresentação de Varejão-Silva, 2005 e Antonio Roberto Pereira, 2005 que usam a abordagem de Mendonça.

A grande vantagem do método é que não são necessárias tabelas e o cálculo pode ser feito usando uma planilha eletrônica do tipo Excel.

### 2.2 Teoria

Para uma seqüência de “n” meses com estiagem após a estação chuvosa, o armazenamento (ARMn) ao longo desses meses será dado pela equação de Mendonça, 1958 na forma condensada, ou seja:

$$\text{ARM}_n = \text{CAD} \times \exp(\text{Neg acum} / \text{CAD}) = \text{CAD} \times \exp(\sum (P - \text{ETP})_n / \text{CAD})$$

Sendo:

ARMn= armazenamento no mês “n”.

CAD= armazenamento máximo no solo. CAD varia de 25mm a 400mm. Thornthwaite e Mather, 1955 supuseram CAD=100mm. A vantagem do método de Mendonça é que pode ser usado sem tabela com qualquer valor de CAD.

P= precipitação média mensal no mês “n” (mm)

ETP= evapotranspiração de referência no mês “n” calculado por Thornthwaite, 1945 (mm)

Neg acum= somatório anual dos negativos acumulados até o mês “n”.

Para uma seqüência de dois meses (n=2) de P- ETP <0 para facilitar a demonstração e expandido a equação acima tem-se:

$$\text{ARM}_2 = \text{CAD} \times \exp((P - \text{ETP})_1 / \text{CAD}) \times \exp((P - \text{ETP})_2 / \text{CAD})$$

Por definição:

$$\text{CAD} \times \exp((P - \text{ETP})_1 / \text{CAD}) = \text{ARM}_1$$

Resultando:

$$\text{ARM}_2 = \text{ARM}_1 \times \exp((P - \text{ETP})_2 / \text{CAD})$$

Que para uma seqüência de n meses reduz-se à equação geral:

$$\text{ARM}_n = \text{ARM}_{n-1} \times \exp((P - \text{ETP})_n / \text{CAD}) \quad (\text{Equação 2.1})$$

Havendo um ou mais meses com P- ETP >0, mas com valores insuficientes para levar o ARM até o valor de CAD, segue-se a rotina normal com:

$$\text{ARM}_n = \text{ARM}_{n-1} + (P - \text{ETP})_n \quad (\text{Equação 2.2})$$

As Equações (2.1) e (2.2) são básicas:

Mendonça, 1958 e Pereira et al, 1997 fizeram algumas modificações e sugeriram que o valor de ARM no fim do período chuvoso seja dado por:

$$\text{ARM} = M / (1 - \exp(N / \text{CAD})) \quad (\text{Equação 2.3})$$

Sendo:

ARM= armazenamento no mês

M= somatório de (P - ETP)+ em mm

N= somatório de (P - ETP) – em mm

#### Início

Escolhe-se um mês no fim das secas e antes do início do período chuvoso

No nosso caso é o mês de maio (mês 5)

$$\text{ARM}_5 = M / (1 - \exp(N / \text{CAD})).$$

Sendo:

ARM5= armazenamento para o mês de maio

M= somatório dos (P- ETP) +.

N= somatório dos (P- ETP) -

Na prática calcular-se primeira o ARM conforme Equação (2.4) e depois usa-se a Equação (2.1) quanto P-ETP <0 e usa-se a Equação (2.2) quando P- ETP >0.

**Exemplo 2.1**

Fazer o balanço hídrico na cidade de Guarulhos usando CAD (capacidade de armazenamento do solo)=130mm. O cálculo de ETP pelo Método de Thornthwaite 1948 foi feito no Capítulo 01 deste livro

**Tabela 2.1- Balanço Hídrico pelo método de Thornthwaite-Mather, 1955 com alterações de Mendonça, 1958 para a cidade de Guarulhos.**

Mes	P	Etp	P-Etp	Pos. acum	Neg ac.	Arm	alt	ETR	DEF	EXC
Col 1	Col 2	Col 3	Col 4	Col 5	Col 6	Col 7	Col 8	Co 9	Col 10	Col 11
						130	130			
Jan	254	122	133	133		130	0	122	0	133
Fev	252	97	155	155		130	0	97	0	155
Mar	201	106	95	95		130	0	106	0	95
Abr	58	80	-22		-22	108	-22	80	0	0
Mai	70	58	13	13		130	22	58	0	0
Jun	39	48	-9		-9	121	-9	48	0	0
Jul	31	45	-14		-14	109	-13	43	2	0
Ago	25	60	-35		-35	83	-26	51	9	0
Set	75	64	11	11		94	11	64	0	0
Out	137	85	52	52		130	36	85	0	16
Nov	130	88	42	42		130	0	88	0	42
Dez	215	113	102	102		130	0	113	0	102
	<b>Σ=1488</b>	<b>Σ=965</b>	<b>Σ=522</b>	<b>Σ=603</b>	<b>Σ=-80</b>	<b>Σ=1426</b>		<b>Σ=954</b>	<b>Σ=11</b>	<b>Σ=543</b>

Vamos explicar coluna por coluna.

**Coluna 1**

Na coluna 1 estão os meses de janeiro a dezembro.

**Coluna 2**

Na coluna 2 estão as precipitações médias mensais obtidas na estação climatológica local (mm)

**Coluna 3**

Na coluna 3 estão as evopotranspiração de referência obtidas usando o método de Thornthwaite, 1948.

**Coluna 4**

Na coluna 4 estão as diferenças entre a precipitação P do coluna 2 e a evopotranspiração de referência ETP da coluna 3. As diferenças podem ser positivas ou negativas.

**Coluna 5**

Na coluna 5 estão todas as diferenças positivas da coluna 4. A somatória das diferenças positivas é **M=+603mm**

**Coluna 6**

Na coluna 6 estão todas as diferenças negativas da coluna 4. A somatória das diferenças negativas é **N=-80mm**

**Coluna 7**

A coluna 7 relativa ao armazenamento ARM é a mais difícil de ser feita.

Primeiramente se procura na coluna 4 quando começam a aparecer P-ETP < 0 e escolhe-se um mês posterior ao mês de abril que é -22 que será o mês de maio.

Aplicamos a equação (2.3).

$$ARM5= M / ( 1 - \exp( N/CAD)).$$

Sendo:

ARM5= armazenamento para o mês de maio

M= somatório dos (P- ETP) >0. que é igual +603mm

N= somatório dos (P- ETP) <0 que é igual a -80mm

CAD=130mm

$$\text{ARM5} = M / (1 - \exp(-N/\text{CAD}))$$
$$\text{ARM5} = 603 / (1 - \exp(-80/130)) = 1312\text{mm}$$

Como o resultado é maior que 130mm adotamos:  
 $\text{ARM5} = 130\text{mm}$

Na mesma coluna 7 referente ao armazenamento ARM calculamos a linha subsequente usando a Equação (2.1):

$$\text{ARM6} = 130 \times \exp(-9/130)$$
$$\text{ARM6} = 121\text{mm}$$

Para ARM7 fazemos a mesma coisa:  
 $\text{ARM7} = 121 \times \exp(-14/130) = 109\text{mm}$   
Para ARM8 fazemos a mesma coisa.  
 $\text{ARM8} = 109 \times \exp(-35/130) = 83\text{mm}$

Agora como as diferenças são positivas, isto é,  $P - \text{ETP} > 0$  usamos a Equação (2.2).

$$\text{ARM}_n = \text{ARM}_{n-1} + (P - \text{ETP})_n \quad (\text{Equação 2.2})$$

$$\text{ARM9} = 83 + 11 = 94\text{mm}$$

$$\text{ARM10} = 94 + 52 = 146\text{mm} > 130\text{mm} \text{ então } \text{ARM10} = 130\text{mm}.$$

Para o mês 11 temos:

$$\text{ARM11} = 130 + 42 = 172\text{mm} \text{ usa-se então } 130\text{mm}$$

$$\text{ARM12} = 130 + 102 = 232\text{mm} \text{ então usa-se } 130\text{mm}$$

E assim vamos até o mês onde  $P - \text{ETP}$  são positivos, isto é, o mês de março;

Para o mês de abril usamos a Equação (2.1):

$$\text{ARM}_n = \text{ARM}_{n-1} \times \exp((P - \text{ETP})_n / \text{CAD})$$

$$\text{ARM}_n = 130 \times \exp(-22/130) = 108\text{mm}$$

#### Coluna 8- Alt

É a altura da coluna 7. É a diferença do valor de P com o anterior.

Assim na primeira linha teremos:  $130 - 130 = 0$

E assim por diante até encontramos  $108 - 130 = 22$

#### Coluna 9 ETR

Usa-se na prática a função **SE** do Excel. **SE (P-ETP)>0** então o valor é ETP para a coluna 9, caso contrário o valor será:  $\text{ABS}(P - \text{ETP}) + \text{ABS}(\text{ALT})$ .

Desta maneira a coluna se monta automaticamente.

#### Coluna 10

A coluna 10 é diferença entre a linha correspondente a ETP menos ETR.

#### Coluna 11 EXC

A coluna 11 referente ao excesso EXC são os valores positivos de  $(P - eP) - \text{ALT}$ . Quando o valor for negativo, colocamos zero.

### 2.3 Balanço hídrico climático

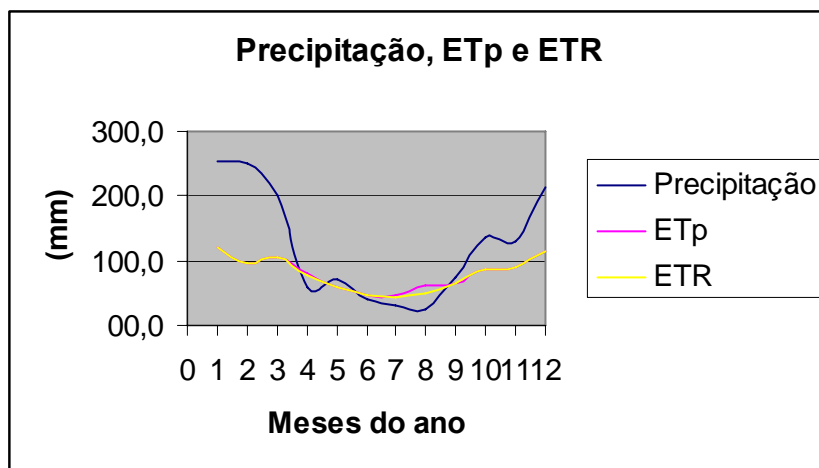
No método do balanço hídrico de Thornthwaite e Mather, 1955 podemos obter alguns índices climáticos:

$$\text{Índice de aridez } I_a = 100 \times \text{DEF} / \text{EPo}$$

$$\text{Índice de umidade } I_u = 100 \times \text{EXC} / \text{EPo}$$

$$\text{Índice hídrico } I_m = I_u - I_a$$

É comum quando se faz o balanço hídrico apresentar um gráfico como o da Figura (2.1).



**Figura 2.1- Gráfico da precipitação P, ETp e ETR**

**Exemplo 2.2**

Calcular o índice de aridez, umidade e hídrico do Exemplo (2.1)

Índice de aridez=  $ia = 100 \times DEF / EPo = 100 \times 11 / 965 = 1,14\%$

Índice de umidade  $lu = 100 \times exc / EPo = 100 \times 543 / 965 = 52,27\%$

Índice hídrico=  $lu - ia = 52,26\% - 1,14\% = 51,12\%$

**Exemplo 2.3**

Campina Grande, CAD=125mm

Latitude: -7° 08'

Longitude: 35 321'W

Altitude: 548m

**Tabela 2.2- Balanço Hídrico pelo método de Thornthwaite-Mather, 1955 com alterações de Mendonça, 1958.**

	P	ETP	P-ETP	+ Acum.	- Acum.	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
	(mm/mês)	mm/mês				8	8			
Jan	41,0	108	-67		-67	5	-3	44	64	0
Fev	55,0	109	-54		-54	3	-2	57	52	0
Mar	100,0	115	-15		-15	3	111	211	-96	0
Abr	129,0	107	22	22		25	-89	107	0	111
Mai	95,0	95	0	0		25	0	95	0	0
Jun	107,0	80	27	27		52	27	80	0	0
Jul	124,0	62	62	62		114	62	62	0	0
Ago	58,0	78	-20		-20	97	-17	75	3	0
Set	38,0	77	-39		-39	71	-26	64	13	0
Out	17,0	102	-85		-85	36	-35	52	50	0
Nov	19,0	108	-89		-89	18	-18	37	71	0
Dez	21,0	117	-96		-96	8	-9	30	87	0
	<b>804,0</b>	<b>1158</b>	<b>-354</b>	<b>111</b>	<b>-465</b>			<b>914</b>	<b>244</b>	<b>111</b>
					Índice de aridez=	21,05	%			
					Índice de umidade=	9,59	%			
					Índice hídrico=	-11,46	%			

#### 2.4 CAD= armazenamento máximo no solo.

Conforme Varejão-Silva, 2005 temos:

$$\text{CAD} = (1/10) \times (\theta_{CC} - \theta_{PM}) \times \text{Dar} \times \text{RZ}$$

**Sendo:**

CAD=capacidade de armazenamento do solo (mm)

$\theta_{CC}$  = quantidade de água contida na capacidade de campo em % do peso.

$\theta_{PMP}$  = quantidade de água contida no ponto de murcha permanente em % do peso.

Dar= densidade aparente do solo ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

RZ= profundidade efetiva das raízes da planta (m)

#### Exemplo 2.1

Calcular a capacidade de armazenamento CAD dados:

$\theta_{CC} = 15\%$

$\theta_{PMP} = 5$ .

Dar=  $1,38\text{g}/\text{cm}^3$

RZ= 70cm

$$\begin{aligned}\text{CAD} &= (1/10) \times (\theta_{CC} - \theta_{PM}) \times \text{Dar} \times \text{RZ} \\ \text{CAD} &= (1/10) \times (15-5) \times 1,38 \times 70=97\text{mm}\end{aligned}$$

## 2.5 Bibliografia e livros consultados

- GOMES, HEBER PIMENTEL. *Engenharia de irrigação*. Universidade Federal da Paraíba, 2ª edição, 390 páginas, 1997, Campina Grande.
- SANTO, SANDRA MEDEIROS. *Roteiro para calcular o balanço hídrico pelo sistema de Thornthwaite-Mather, 1955*. Universidade Estadual de Feira de Santana- Departamento de Tecnologia.
- VAREJAO-SILVA, MARIO ADELMO. *Meteorologia e Climatologia*. Recife, 2005.
- VIANELLO, RUBENS LEITE E ALVE, ADIL RAINIER. *Meteorologia Básica e aplicações*. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 1991, 449páginas.