

BALANÇO HÍDRICO UTILIZANDO DIFERENTES METODOLOGIAS DE ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO POR TEMPERATURA

Francisco F. N. Marcuzzo¹; Rodrigo L. Manzione² & Edson C. Wendland³

RESUMO – A importância do balanço hídrico se deve a sua finalidade que é a de se identificar os períodos de excesso ou escassez de água e, principalmente, na quantificação das deficiências hídricas para cultivos agrícolas, geração de energia elétrica, abastecimento humano, recarga de aquíferos, entre outros. O objetivo deste trabalho foi o de apresentar um estudo de balanço hídrico utilizando-se de seis diferentes metodologias de estimativa de evapotranspiração por temperatura. Os dados utilizados foram do ano de 2008, do município de Itirapina/SP, coletados na estação climatológica do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA) do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, pertencente à Universidade de São Paulo, localizada na latitude 22°10'13,2"S e longitude 47°53'56,1" W e a uma altura de 733 metros acima do nível do mar. Como resultados são apresentados gráficos do comportamento dos diferentes métodos de evapotranspiração estudados e as respectivas análises detalhadas dos diferentes componentes dos balanços hídricos calculados. Conclui-se que, para os dados climatológicos da região estudada, a metodologia para estimativa de evapotranspiração a ser selecionado possui grande influência no resultado final do extrato do balanço hídrico.

ABSTRACT – The importance of water balance is that its purpose is to identify periods of excess or shortage of water and particularly the quantification of the water deficit for agricultural crops, generation of electricity, supply consumption, recharge of aquifers, and others. The objective was to present a study of water balance by using six different methods of estimating evapotranspiration by temperature. The data used were from the year 2008, the municipality of Itirapina / SP, collected in the climatological station of the Center for Water Resources and Applied Ecology (CRHEA) in Department of Hydraulic and Sanitation, Engineering School of São Carlos, belonging to the University of São Paulo, located at latitude 22 ° 10'13, 2 "S and longitude 47 ° 53'56, 1" W and a height of 733 meters above sea level. Results are presented as graphs of the behavior of different methods of evapotranspiration studied and their detailed analysis of the different components of water balance calculated. It follows that for climatological data of the region studied, the methodology for estimation of evapotranspiration to be selected has great influence on the outcome of the water balance extract.

Palavras-chave: Thornthwaite & Matter, Blaney-Criddle, Linacre.

¹ Engº Agrônomo, Doutor, Pesquisador em Geociências / Engenharia Hidrológica, CPRM – Ministério de Minas e Energia - Rua 148, nº485 - Setor Marista Goiânia - CEP 74170-110, Tel.:(62) 3240-1426 – Goiânia/GO. fmarcuzzo@go.cprm.gov.br.

² Engº Agrônomo, Professor Doutor, UNESP/Ourinhos. Av. Vitalina Marcusso, nº1500, CEP 19910-206. manzione@ourinhos.unesp.br

³ Engº Civil, Professor Doutor, Depto. de Hidráulica e de Saneamento, EESC, USP, São Carlos/SP, 13566-590, ew@sc.usp.br.

1 - INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos disponíveis no Brasil são abundantes, mas nem sempre bem distribuídos e estudados nas diferentes regiões do país. Trata-se de melhor distribuí-los no espaço e no tempo, e principalmente de preservá-los planejando e projetando de forma a aperfeiçoar os sistemas de aproveitamento de recursos hídricos. Para isto, deve-se em primeiro lugar conhecer-se a hidrologia de sistemas. Deve-se antes de tudo observar os fenômenos hidrológicos peculiares às bacias em estudo e a partir dos dados observados, elaborarem estudos compreensivos de forma a caracterizar e prever seu comportamento objetivando a sua melhor utilização (Swami & Mattos, 1975).

Em ambiente de múltiplos usos, o bom conhecimento das necessidades dos diversos usuários e das disponibilidades hídricas é fundamental para uma boa gestão; entretanto, as incertezas hidrológicas, as variações das demandas e o grande número de variáveis representativas dos processos físicos, químicos e biológicos, conferem elevado nível de complexidade à análise dos sistemas de recursos hídricos (Carvalho *et al.*, 2009).

Medeiros 2002, em um projeto de irrigação a evapotranspiração da cultura (ETc) é a variável mais importante, pois indica a quantidade de água a ser reposta a cultura de modo a garantir um retorno satisfatório ao produtor. O mesmo autor também cita que, sendo a ETc função da evapotranspiração de referência (ETo), a determinação desta passa a ser importante nos projetos, no planejamento e no manejo da irrigação.

De acordo com Pereira *et al.* (1997) o balanço hídrico é um sistema contábil de monitoramento de perda da água do solo e resulta da aplicação do princípio de conservação da massa em um volume de solo vegetado. A variação do armazenamento representa o balanço entre as entradas (precipitação) e saídas (evaporação e transpiração) de água do volume de controle, em um intervalo de tempo. Os resultados de evapotranspiração, precipitação e o respectivo balanço hídrico podem ser utilizados no zoneamento agro climático, na determinação da demanda hídrica potencial das culturas irrigadas, no planejamento da pesquisa e para identificar o regime hídrico de uma região (Aguilar *et al.*, 1986).

Mello *et al.* (1996) averiguaram que existem entre 50 a 60 equações para a simulação da evapotranspiração. As equações são baseadas em dados meteorológicos para o cálculo da evapotranspiração de referência (ETo). Como constatou Bernardo *et al.* (2005) alguns dos métodos mais precisos são de difícil aplicação, não só pela complexidade dos cálculos, mas, também, por exigirem um grande número de dados meteorológicos, nem sempre disponíveis.

O objetivo deste trabalho foi o de apresentar um estudo do balanço hídrico proposto por Thornthwaite e Matter (1955) utilizando-se de seis diferentes metodologias de estimativa de evapotranspiração por temperatura. Executa-se, no final do trabalho, uma análise dos resultados

com base no princípio de conservação de massa, de modo a se aferir se a metodologia de estimativa de evapotranspiração se enquadrou no balanço hídrico proposto por Thornthwaite e Matter (1955).

2 - MATERIAL E MÉTODOS

2.1 - Dados utilizados e a localização da estação climatológica

A coleta dos dados climatológicos (Tabela 1) ocorreu no ano de 2008, no município de Itirapina/SP, na estação climatológica do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA) do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, pertencente à Universidade de São Paulo, localizada na latitude 22°10'13,2"S e longitude 47°53'56,1" W e a uma altura de 733 metros acima do nível do mar.

Tabela 1 - Dados climatológicos mensais coletados na estação climatológica do campus avançado da USP no município de Itirapina/SP, em 2008.

Mês	T _{máxima}	T _{mínima}	T _{média}	UR	u ₂	n	n	RS	E _{TCA}	P
	----- °C -----	----- °C -----		%	m.s ⁻¹	h.mês ⁻¹	h.dia ⁻¹	Watt.m ⁻²	----- mm.mês ⁻¹ -----	
Jan	33,9	11,8	23,2	85,8	2,5	127,5	4,1	424,4	121,1	270,4
Fev	33,8	15,8	25,5	79,0	1,4	165,9	5,7	523,8	123,1	157,0
Mar	32,4	14,0	23,8	84,9	1,9	217,3	7,0	512,8	126,8	228,4
Abr	31,5	10,0	22,7	85,6	1,6	153,6	5,1	303,7	117,1	98,6
Mai	28,8	5,0	18,2	81,1	1,3	206,8	6,7	245,8	102,9	44,1
Jun	28,4	4,3	17,9	81,1	1,8	191,4	6,4	209,3	88,1	43,9
Jul	29,4	4,4	17,8	70,2	2,5	267,0	8,6	278,0	128,7	0,0
Ago	31,5	4,7	19,9	74,5	3,8	233,4	7,5	296,9	143,4	63,0
Set	33,2	5,0	19,5	73,2	5,0	220,0	7,3	364,7	155,8	38,5
Out	35,0	9,8	22,8	76,2	4,9	169,8	5,5	353,9	168,8	100,5
Nov	31,2	11,2	22,4	80,2	4,2	217,9	7,3	402,6	182,7	98,8
Dez	31,6	12,5	22,4	83,1	3,6	192,3	6,2	352,1	159,2	177,2

UR - Umidade relativa média diária; u₂ - Velocidade do vento média diária a 2m de altura; n - Número de horas de insolação; RS - Radiação solar média diária; E_{TCA} - Evaporação do Tanque Classe A; P - Precipitação.

A vegetação predominante na região era o cerrado, com manchas de mata galeria nos solos mais úmidos. Atualmente, predominam o reflorestamento com *Pinus sp* e áreas de agricultura intensiva, principalmente com cana-de-açúcar e frutas cítricas. O clima da região é controlado pelas massas de ar equatorial e tropical com períodos seco (maio a outubro) e úmido (novembro a abril). Os dados climatológicos utilizados na estimativa da evapotranspiração (temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, número de horas de insolação, radiação solar e evaporação do

tanque classe A) foram coletados diariamente. Os métodos de cálculo de evapotranspiração utilizados nesse estudo são descritos a seguir.

2.2 - Metodologias de estimativa de evapotranspiração por temperatura

2.2.1 - Thornthwaite (1948)

O método correlaciona informações de latitude e mês do ano com a variável temperatura e possibilita a estimativa da evapotranspiração com a seguinte equação:

$$ETP = Fc 16 \left(10 \frac{T}{I}\right)^a \quad (1)$$

em que, ETP – evapotranspiração potencial para meses de 30 dias e comprimentos de 12 horas (mm.mês^{-1}); T – temperatura média mensal do ar ($^{\circ}\text{C}$); Fc – fator de correção em função da latitude e mês do ano (Quadro 1);

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{t_i}{5}\right)^{1,514} \quad (2)$$

$$a = 67,5 \cdot 10^{-8} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-6} I^2 + 0,01791 I + 0,492 \quad (3)$$

em que, T – média das temperaturas dos meses analisados ($^{\circ}\text{C}$); t_i – temperatura média do mês ($^{\circ}\text{C}$).

Quadro 1 - Fator de correção para a evapotranspiração potencial de Thornthwaite em função da latitude 22 e mês do ano (Tucci *et al*, 2004 - Pág. 286).

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1,17	1,01	1,05	0,96	0,94	0,88	0,98	0,98	1,00	1,10	1,11	1,18

Berlato & Molion (1981) citam que em regiões onde o clima difere daquele onde a equação foi desenvolvida, os resultados obtidos não são satisfatórios. Pressupõe-se que isso ocorra porque o método não contempla explicitamente a umidade do ar. Assim, deve-se ter muita cautela ao utilizar este método, particularmente em climas de verões úmidos e invernos secos. Apesar de tudo, a equação de Thornthwaite ganhou popularidade mundial, mais pelo fato de necessitar somente de dados de temperatura do ar, informação disponível em grande número de estações meteorológicas, do que pela sua precisão.

2.2.2 - Blaney-Criddle (1950)

Descrito por Kijne (1978), este método foi desenvolvido originalmente para estimativas de uso consultivo em regiões semi-áridas, baseado na suposição de que a disponibilidade de água para a planta em crescimento não é um fator limitante. A equação é apresentada a seguir:

$$ETP = (0,457 T + 8,13) p \quad (4)$$

em que, ETP – evapotranspiração potencial (mm.d^{-1}); T – temperatura média diária do ar ($^{\circ}\text{C}$); p – porcentagem diária de horas de luz, tabulada no Quadro 2 (Tucci *et al.*, 2004).

Quadro 2 - Proporção média diária (p) de horas de luz na latitude 22 (Tucci *et al.*, 2004 - Pág. 286).

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
0,30	0,29	0,28	0,26	0,25	0,25	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30

2.2.3 - Hamon (1961)

O método desenvolvido por Hamon (1961) é expresso pela equação abaixo:

$$ETP = 0,55 \left(\frac{N}{12} \right)^2 \left(\frac{4,95 \exp^{0,062 T}}{100} \right) 25,4 \quad (5)$$

em que, ETP – evapotranspiração potencial (mm.d^{-1}); T – temperatura média diária do ar ($^{\circ}\text{C}$); N – insolação máxima diária teórica em função da latitude e época do ano, calculada pela seguinte equação:

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (6)$$

em que, ω_s é o ângulo horário do pôr do sol (radianos), obtido por:

$$\omega_s = \arccos[-\text{tg}(\varphi) \cdot \text{tg}(\delta)] \quad (7)$$

em que, φ – latitude local (radianos); δ – declinação solar (radianos), localizado pela equação:

$$\delta = 0,4093 \text{sen} \left(\frac{2\pi}{365} J - 1,39 \right) \quad (8)$$

em que, J é a ordem dos dias do calendário Juliano no ano (1 a 365 ou 366).

2.2.4 - Linacre (1977)

A evapotranspiração pelo método de Linacre (1977) é obtida pela seguinte equação:

$$ETP = \frac{700 \frac{(T + 0,006 z)}{100 - \varphi} + 15(T - T_d)}{(80 - T)} \quad (9)$$

em que, ETP – evapotranspiração potencial (mm.d^{-1}); T – temperatura média diária do ar ($^{\circ}\text{C}$); z – altitude do local, (m); φ – latitude do local (graus); T_d – temperatura de ponto de orvalho, ($^{\circ}\text{C}$).

2.2.5 - Hargreaves-Samani-T (1985)

O modelo proposto por Hargreaves & Samani (1982; 1985) para estimar a evapotranspiração considera as variáveis latitude, temperatura diária máxima, média e mínima, e é expresso pela seguinte equação:

$$ETP = 0,0023(T + 17,8)(T_{\max} - T_{\min})^{0,5} R_a \quad (10)$$

em que, ETP – evapotranspiração potencial (mm.d^{-1}); T – temperatura média diária do ar ($^{\circ}\text{C}$); T_{max} – temperatura máxima diária ($^{\circ}\text{C}$); T_{min} – temperatura mínima diária ($^{\circ}\text{C}$); R_a – radiação solar extraterrestre incidente acima da atmosfera, ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$), obtida por:

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \text{sen}(\varphi) \text{sen}(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \text{sen}(\omega_s)] \quad (11)$$

em que, G_{sc} – constante solar = $0,0820$ ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$); d_r – distância relativa do Sol a Terra (radianos), cuja equação é:

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad (12)$$

2.2.6 - Kharrufa (1985)

O método desenvolvido por Kharrufa (1985), a partir da relação entre evapotranspiração e a porcentagem de insolação máxima diária, é descrito segundo a equação:

$$ETP = 0,34 p T^{1,3} \quad (13)$$

em que, ETP – evapotranspiração potencial (mm.d^{-1}); p – porcentagem diária de horas de luz, tabulada no Quadro 2 (Tucci *et al.*, 2004); T – temperatura média diária do ar ($^{\circ}\text{C}$).

2.3 - Balanço hídrico pela metodologia de Thornthwaite-Matter (1955)

Thornthwaite e Matter (1955) desenvolveram o balanço hídrico climatológico para determinar o regime hídrico de um local, sem a necessidade de medidas diretas das condições do solo. Para sua elaboração, há necessidade de se definir, para uma determinada região ou local a Capacidade de Água Disponível (CAD) no solo, os valores de Precipitação (P) e Evapotranspiração (ET) para um período considerado. Com essas informações básicas, a metodologia permite estimar, para o mesmo período, o Armazenamento da Água no solo (ARM), a Evapotranspiração Real (ER), Deficiência (DEF) e Excedente Hídrico (EXC) (Ometto, 1981; Pereira *et al.*, 1997). Toda a metodologia utilizada neste estudo é descrita em Thornthwaite e Matter (1955) e Pereira *et al.*, (1997).

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 - Evapotranspiração

Comparando as curvas de evapotranspiração (Figura 1), no decorrer dos meses do ano de 2008, nota-se que nos meses mais chuvosos (Tabela 1), que vai de outubro a março, o método Kharrufa (1985) obteve os maiores valores de evapotranspiração, sendo que neste método de estimativa, além da temperatura, tem maior peso a quantidade de horas de luz durante o dia (equação 13). Já para os meses mais secos do ano, que vai de abril a setembro (Tabela 1), em média, o método que obteve os maiores valores de estimativa de evapotranspiração foi o de Blaney-

Criddle (1950), que também usa a quantidade de horas de luz durante o dia e a temperatura (equação 4), contudo, este método foi desenvolvido para regiões com baixa temperatura e pouca pluviosidade (Kijne, 1978).

O método que obteve os menores valores de estimativa de evapotranspiração para os meses chuvosos, de outubro a março (Tabela 1), em média, foi o método Linacre (1977), que além da temperatura média do ar leva em consideração a temperatura do ponto de orvalho, a altitude e a latitude do local (equação 9). Já nos meses mais secos, de abril a setembro (Tabela 1), o método de Hamon (1961) obteve os menores valores de estimativa de evapotranspiração, sendo que este método, além da temperatura utiliza a insolação máxima diária teórica em função da latitude e época do ano (equação 5).

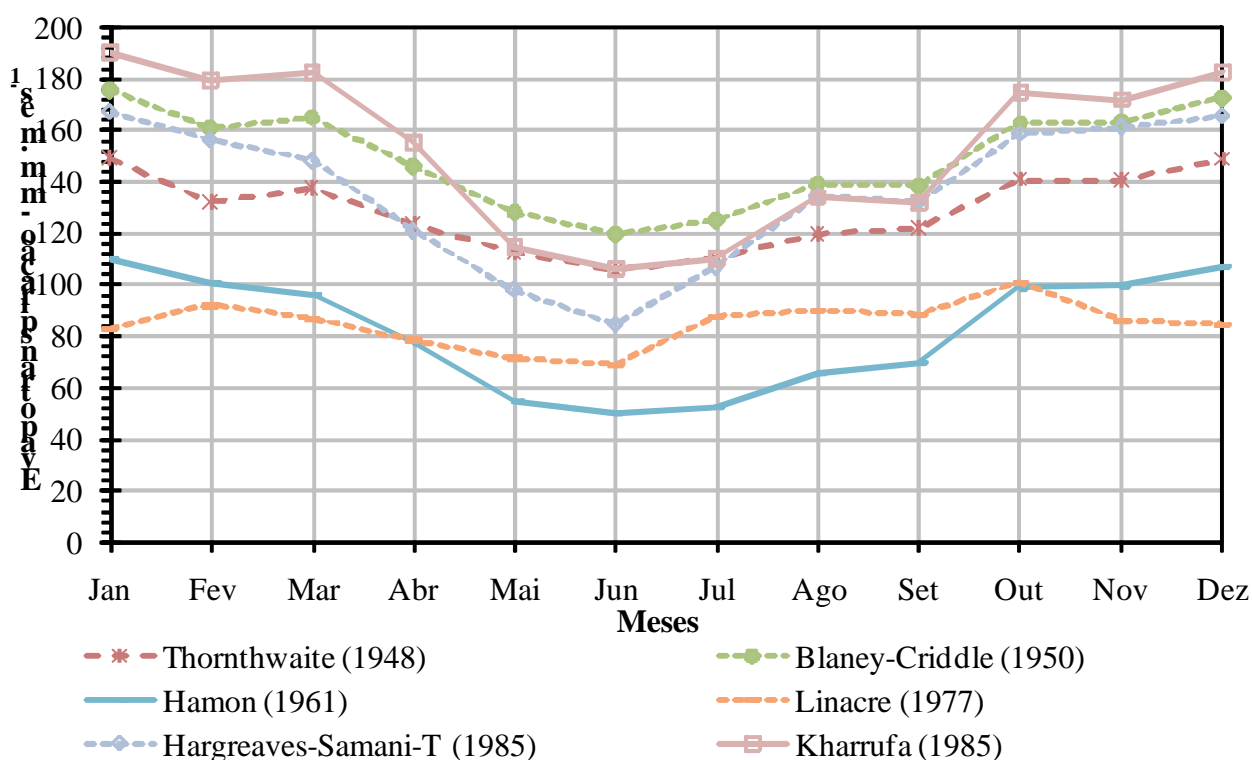


Figura 1 – Evolução das estimativas de evapotranspiração mensal, para o ano de 2008, dos diferentes métodos de estimativa utilizados.

3.2 - Balanço hídrico

O resultado de grande importância, nos gráficos analisados a seguir, é a deficiência de água, que, por exemplo, pode causar problemas para o abastecimento urbano e/ou agricultura, e o excesso de água, que, por exemplo, pode fomentar a recarga de aquífero.

São apresentados para cada método de estimativa de evapotranspiração testado, de forma complementar, três tipos diferentes de gráfico. O primeiro mostra o extrato simples do balanço hídrico, ou seja, se há deficiência ou excedente hídrico no decorrer do ano. O segundo mostra a precipitação, evapotranspiração potencial estimada pelos diferentes métodos estudados e armazenamento de

água no solo máximo, mínimo e efetivo. No terceiro obtém-se o excedente hídrico, reposição, deficiência, retirada, precipitação e a evapotranspiração potencial estimada.

3.2.1 - Balanço hídrico com a evapotranspiração calculada por Thornthwaite (1948)

Analisando as Figuras 2, 3 e 4 nota-se que a grande influencia no extrato do balanço hídrico, calculada pela evapotranspiração por Thornthwaite (1948), foi provocada pela pluviosidade.

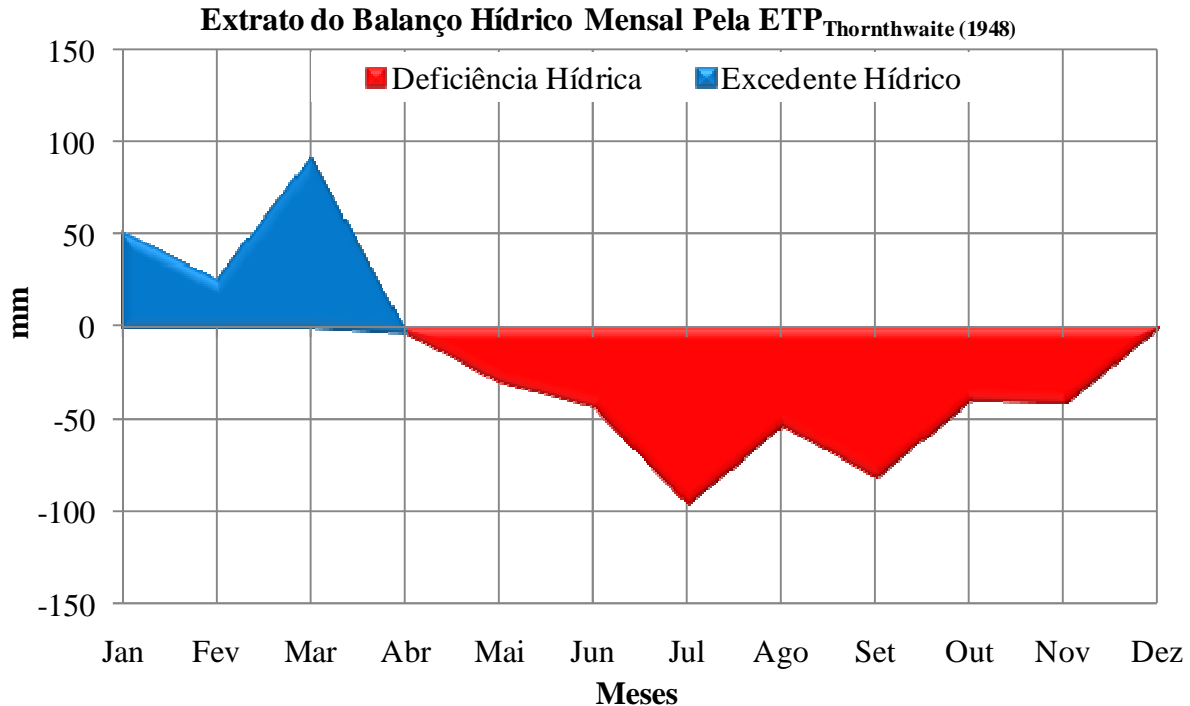


Figura 2 - Extrato do balanço hídrico mensal calculado com a evapotranspiração potencial estimada por Thornthwaite (1948), para o ano de 2008.

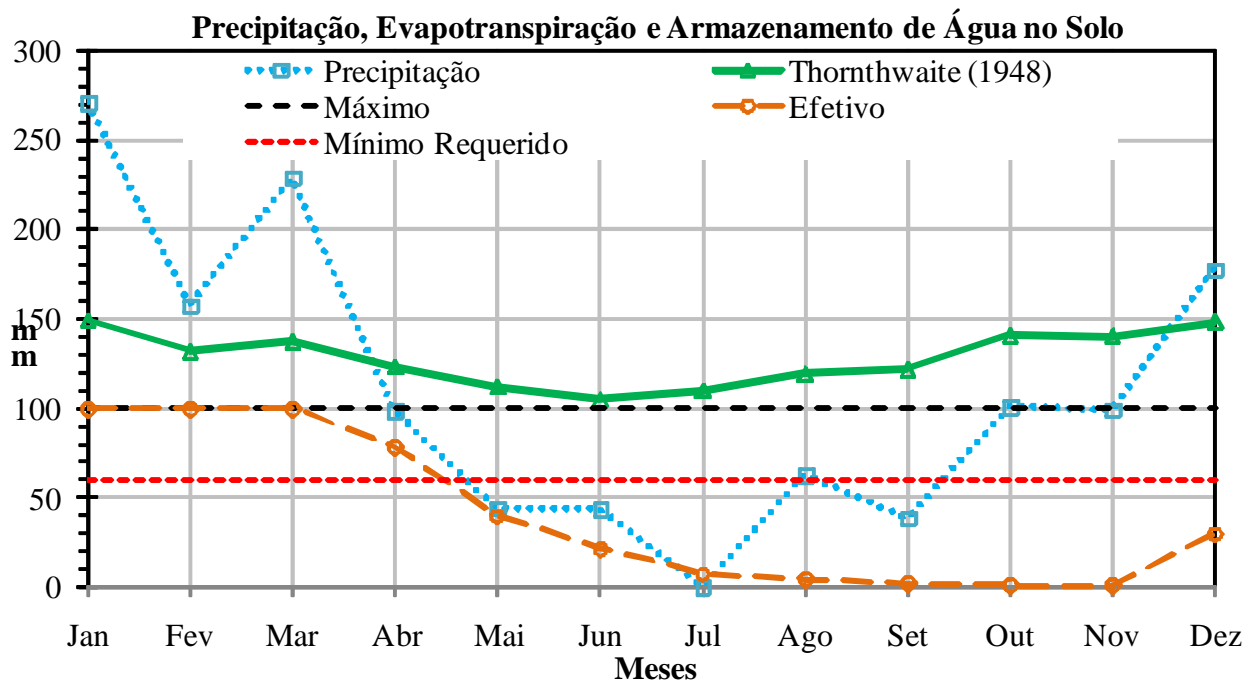


Figura 3 - Precipitação, evapotranspiração potencial estimada por Thornthwaite (1948) e armazenamento de água no solo máximo, mínimo e efetivo, para o ano de 2008.

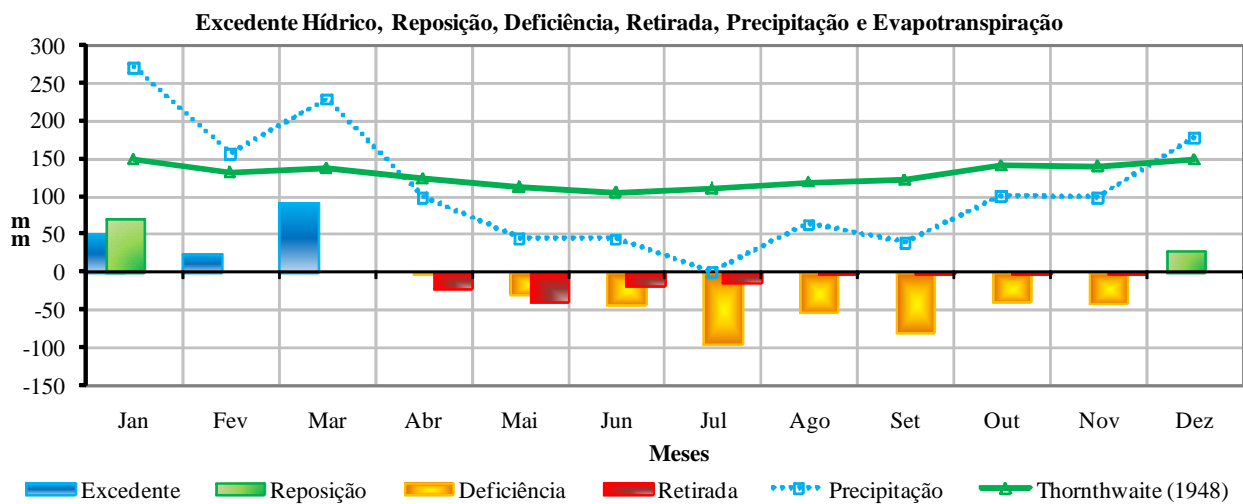


Figura 4 - Excedente hídrico, reposição, deficiência, retirada, precipitação e evapotranspiração potencial estimada por Thornthwaite (1948), para o ano de 2008.

3.2.2 - Balanço hídrico com a evapotranspiração calculada por Blaney-Criddle (1950)

Avaliando as Figuras 5, 6 e 7 verifica-se que a queda acentuada da pluviosidade a partir do mês de abril, atrelada aos elevados valores médios da estimativa de evapotranspiração pelo método de Blaney-Criddle (1950), provocou a maior deficiência hídrica no extrato do balanço hídrico dentre os outros métodos de estimativa de evapotranspiração estudados.

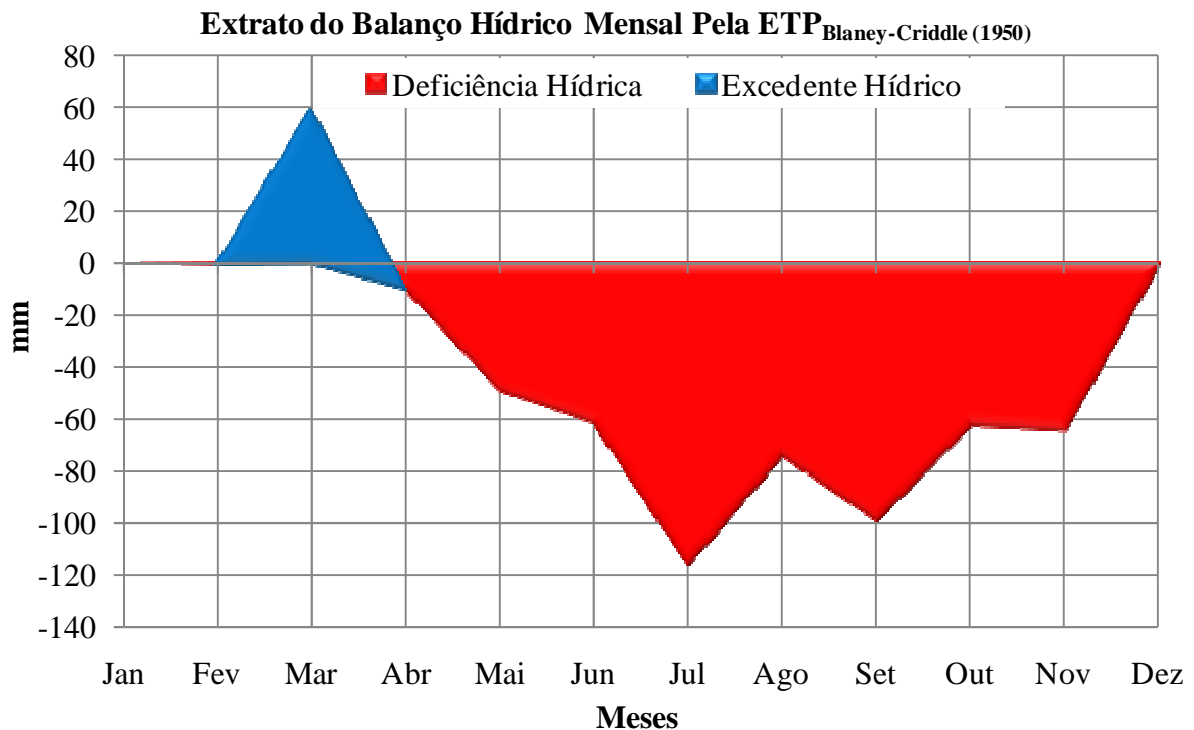


Figura 5 - Extrato do balanço hídrico mensal calculado com a evapotranspiração potencial estimada por Blaney-Criddle (1950), para o ano de 2008.

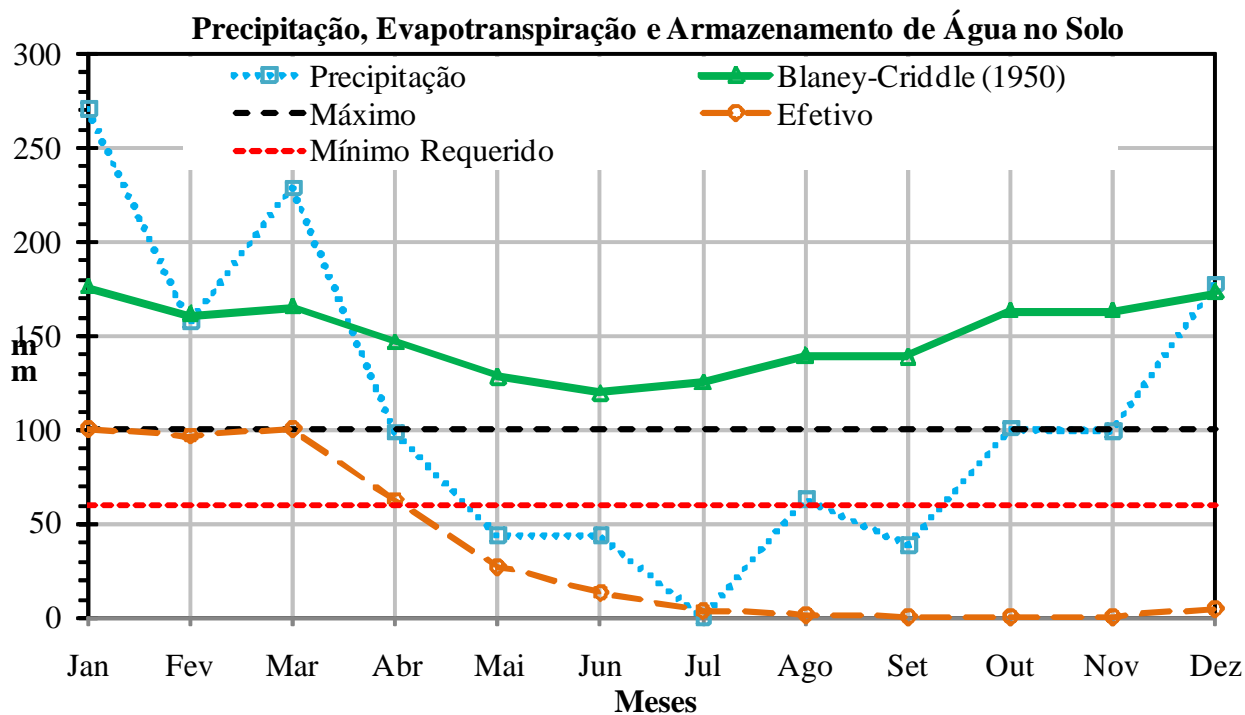


Figura 6 - Precipitação, evapotranspiração potencial estimada por Blaney-Criddle (1950) e armazenamento de água no solo máximo, mínimo e efetivo, para o ano de 2008.

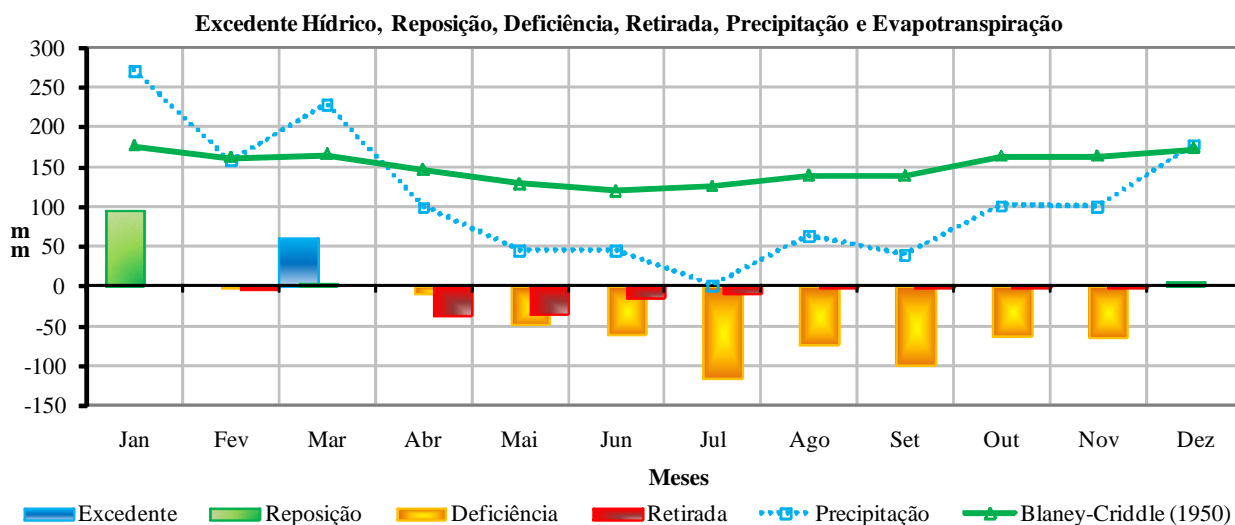


Figura 7 - Excedente hídrico, reposição, deficiência, retirada, precipitação e evapotranspiração potencial estimada por Blaney-Criddle (1950), para o ano de 2008.

3.2.3 - Balanço hídrico com a evapotranspiração calculada por Hamon (1961)

As Figuras 8, 9 e 10 mostram que, mesmo com a queda acentuada da pluviosidade a partir do mês de abril, devido aos baixos valores médios da estimativa de evapotranspiração pelo método de Hamon (1961), este método provocou a menor deficiência hídrica no extrato do balanço hídrico dentre os outros métodos de estimativa de evapotranspiração estudados.

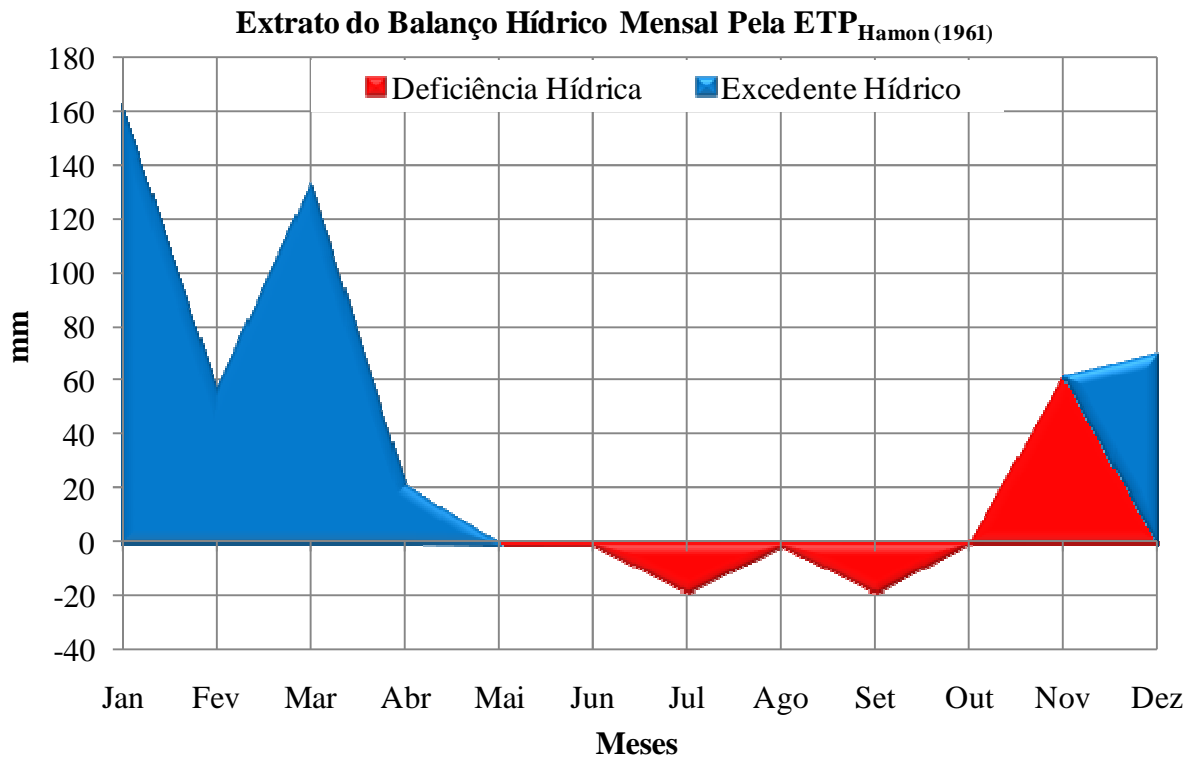


Figura 8 - Extrato do balanço hídrico mensal calculado com a evapotranspiração potencial estimada por Hamon (1961), para o ano de 2008.

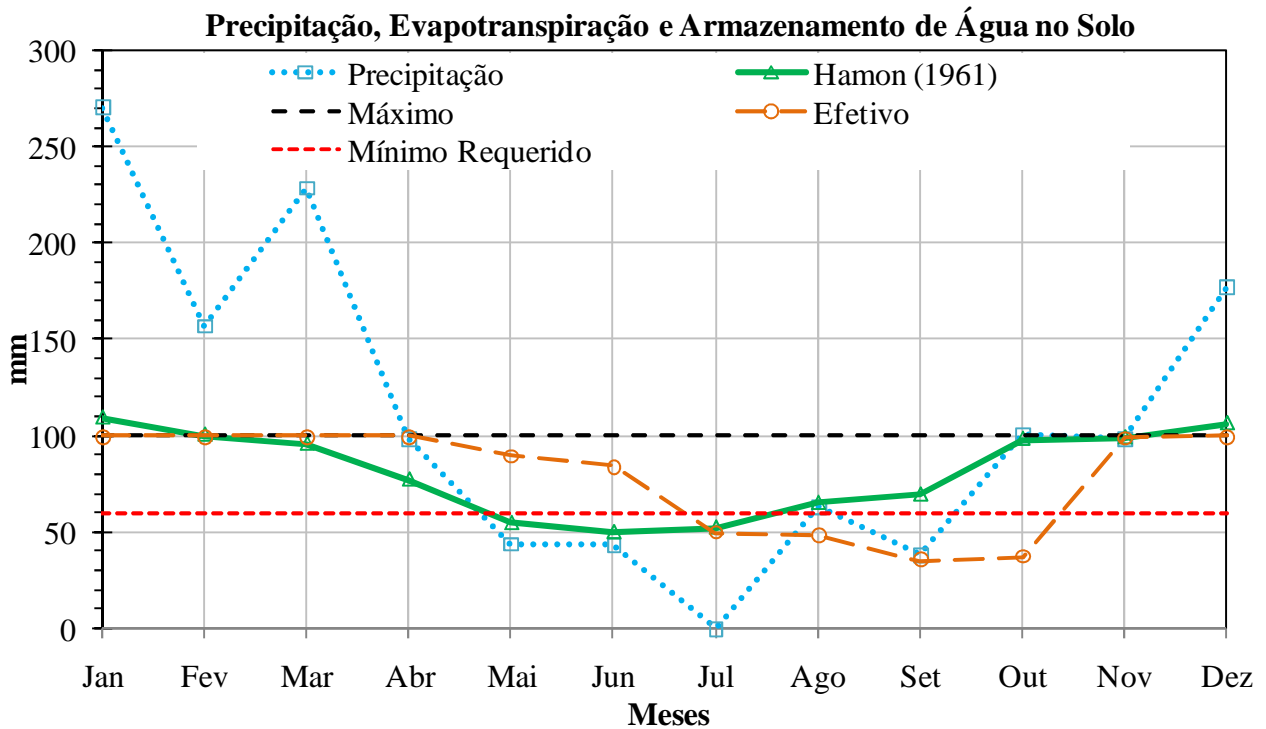


Figura 9 - Precipitação, evapotranspiração potencial estimada por Hamon (1961) e armazenamento de água no solo máximo, mínimo e efetivo, para o ano de 2008.

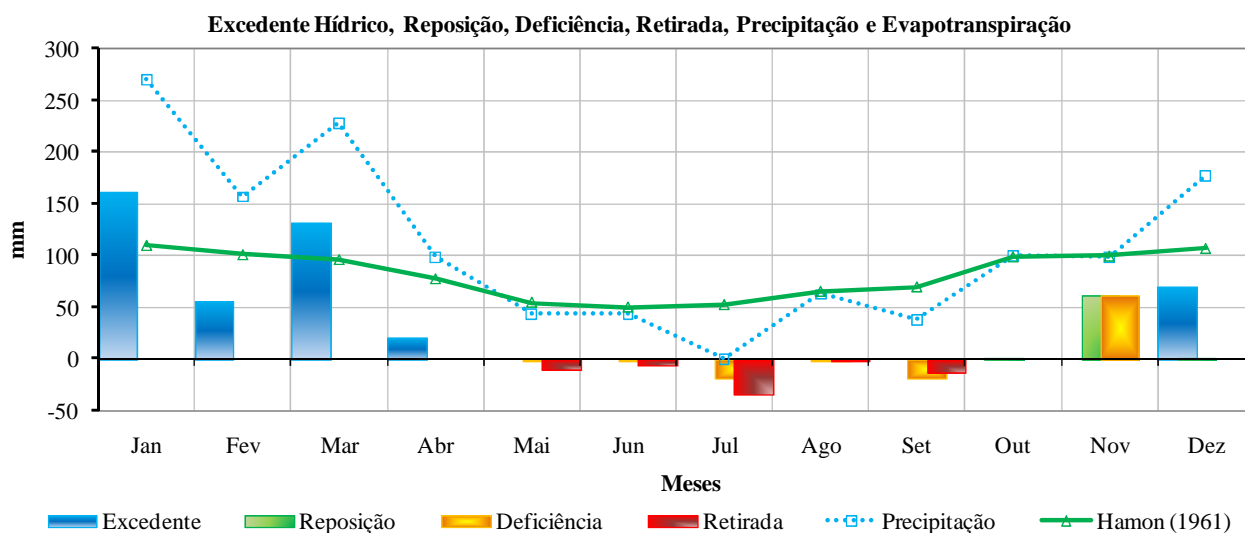


Figura 10 - Excedente hídrico, reposição, deficiência, retirada, precipitação e evapotranspiração potencial estimada por Hamon (1961), para o ano de 2008.

3.2.4 - Balanço hídrico com a evapotranspiração calculada por Linacre (1977)

As Figuras 11, 12 e 13 mostram os resultados do balanço hídrico e seus componentes para o método de estimativa de evapotranspiração por Linacre (1977). Conforme o comportamento da evapotranspiração durante o ano nota-se que este método foi o que acarretou menor influência no extrato do balanço hídrico durante o ano estudado, tendo, portanto, maior influência no déficit hídrico a baixa pluviosidade nos meses secos do ano (Tabela 1), que vai de abril a setembro.

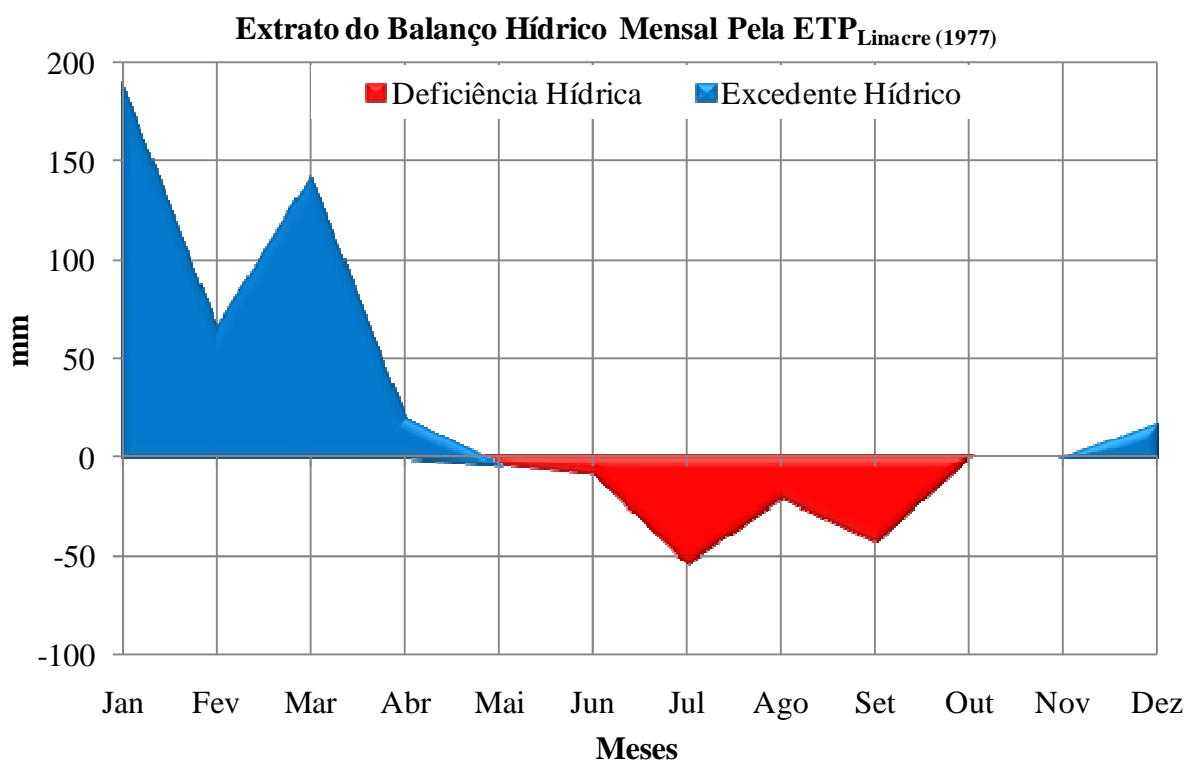


Figura 11 - Extrato do balanço hídrico mensal calculado com a evapotranspiração potencial estimada por Linacre (1977), para o ano de 2008.

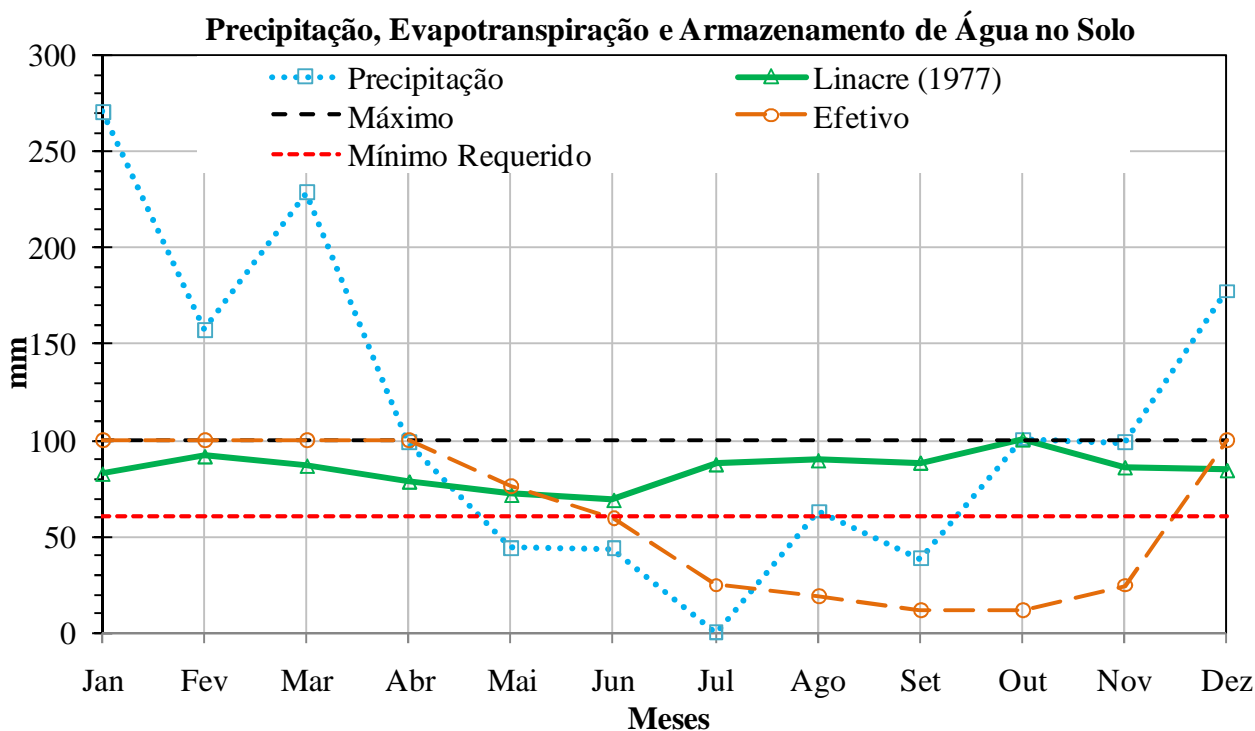


Figura 12 - Precipitação, evapotranspiração potencial estimada por Linacre (1977) e armazenamento de água no solo máximo, mínimo e efetivo, para o ano de 2008.

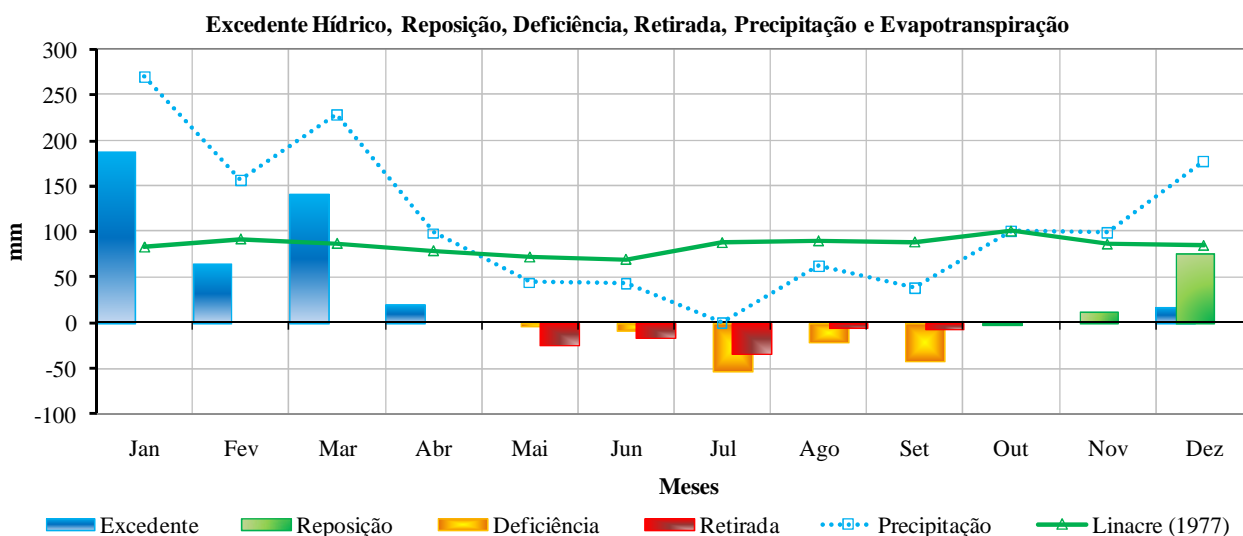


Figura 13 - Excedente hídrico, reposição, deficiência, retirada, precipitação e evapotranspiração potencial estimada por Linacre (1977), para o ano de 2008.

3.2.5 - Balanço hídrico com a evapotranspiração calculada por Hargreaves-Samani-T (1985)

As Figuras 14, 15 e 16 expõem os resultados do balanço hídrico e seus componentes para o método de estimativa de evapotranspiração por Hargreaves-Samani-T (1985). Devido ao comportamento da evapotranspiração durante o ano, e a lenta recuperação dos valores de pluviosidade (Tabela 1) no segundo semestre do ano, nota-se que este método acarretou um baixo armazenamento efetivo de água no solo.

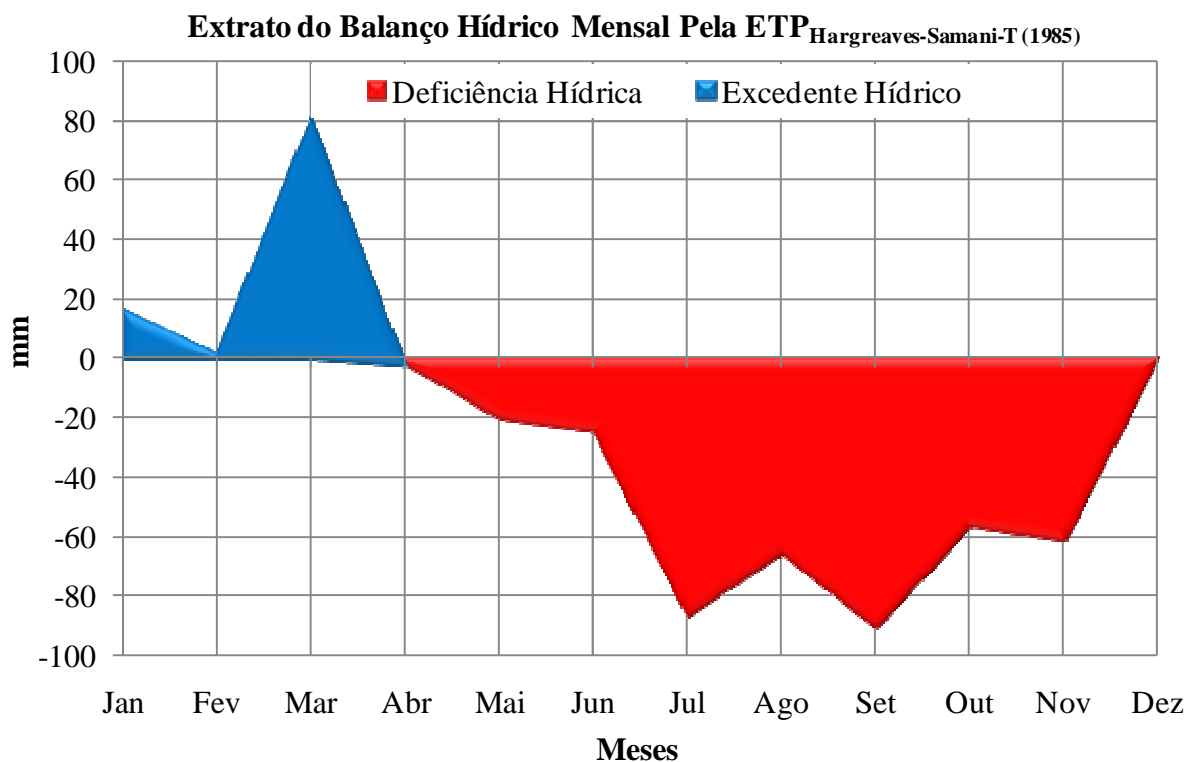


Figura 14 - Extrato do balanço hídrico mensal calculado com a evapotranspiração potencial estimada por Hargreaves-Samani-T (1985), para o ano de 2008.

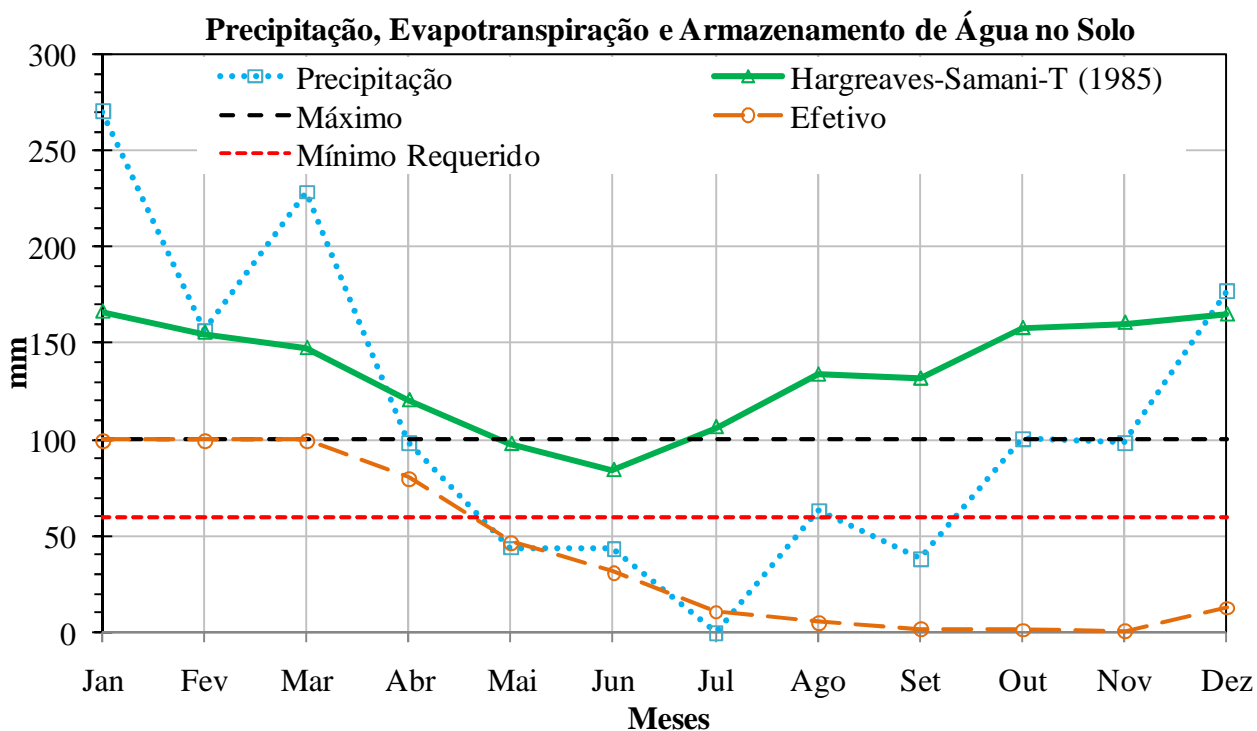


Figura 15 - Precipitação, evapotranspiração potencial estimada por Hargreaves-Samani-T (1985) e armazenamento de água no solo máximo, mínimo e efetivo, para o ano de 2008.

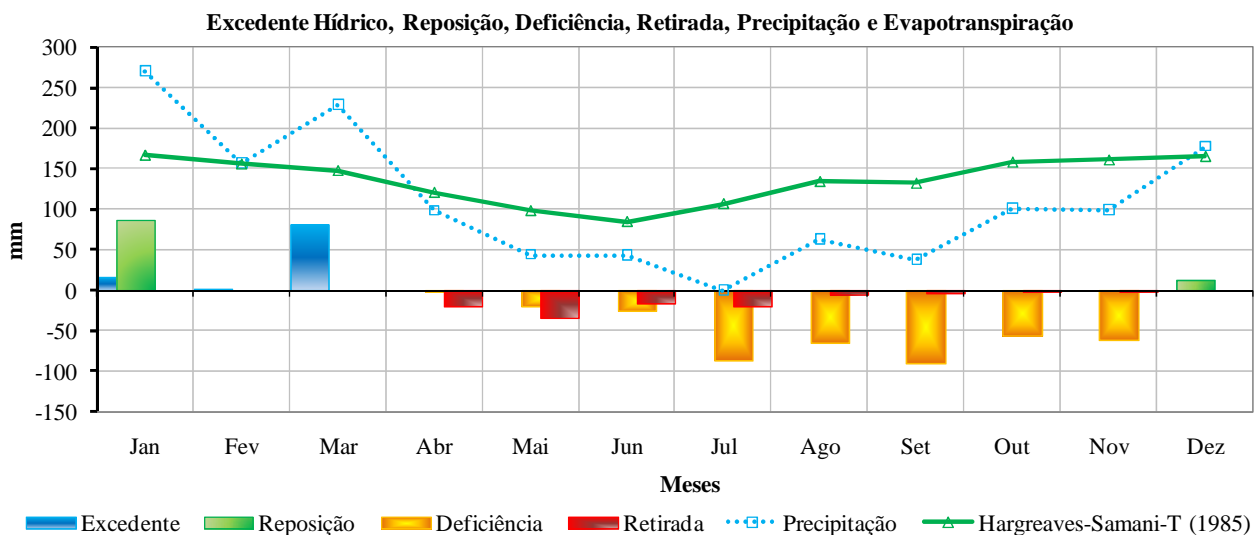


Figura 16 - Excedente hídrico, reposição, deficiência, retirada, precipitação e evapotranspiração potencial estimada por Hargreaves-Samani-T (1985), para o ano de 2008.

3.2.6 - Balanço hídrico com a evapotranspiração calculada por Kharrufa (1985)

As Figuras 17, 18 e 19 expõem os resultados do balanço hídrico e seus componentes para o método de estimativa de evapotranspiração por Kharrufa (1985). Os elevados números mensais da estimativa de evapotranspiração, principalmente nos meses chuvosos (Tabela 1), atrelados a elevada reposição de água ao solo em janeiro, acarretaram a maior média anual de deficiência hídrica e o menor armazenamento efetivo de água no solo dentre os métodos de evapotranspiração estudados.

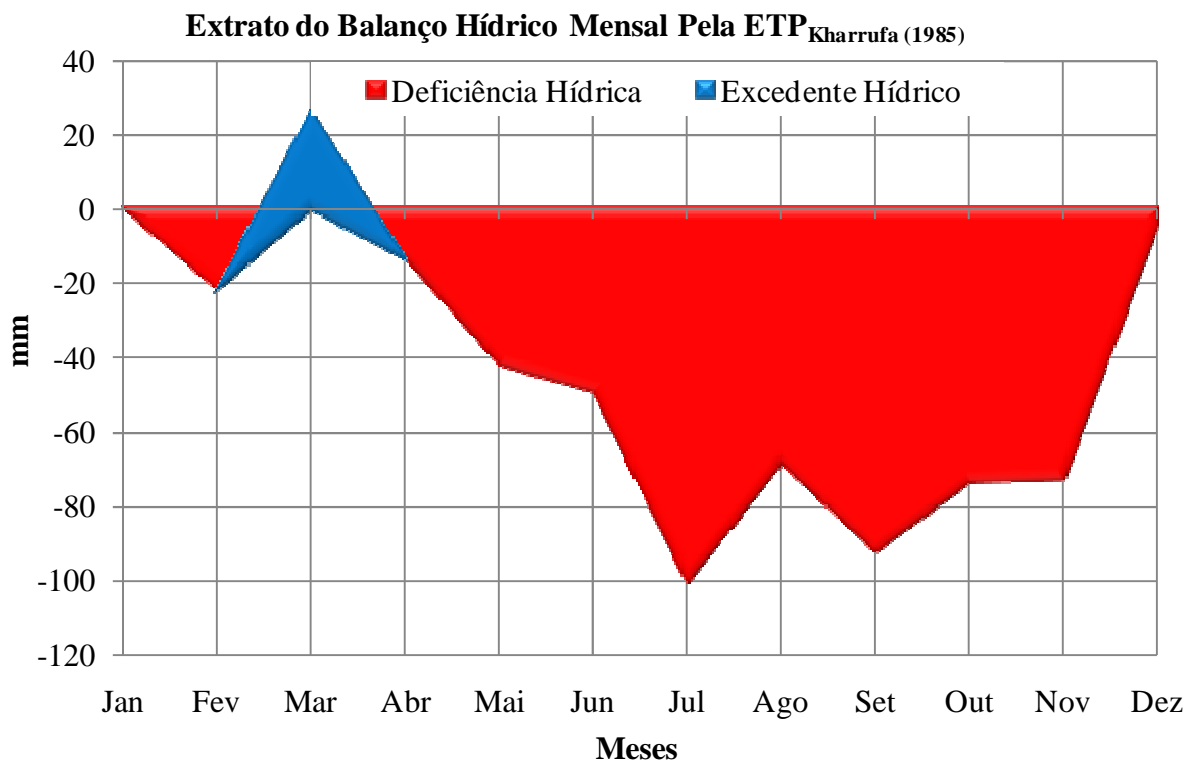


Figura 17 - Extrato do balanço hídrico mensal calculado com a evapotranspiração potencial estimada por Kharrufa (1985), para o ano de 2008.

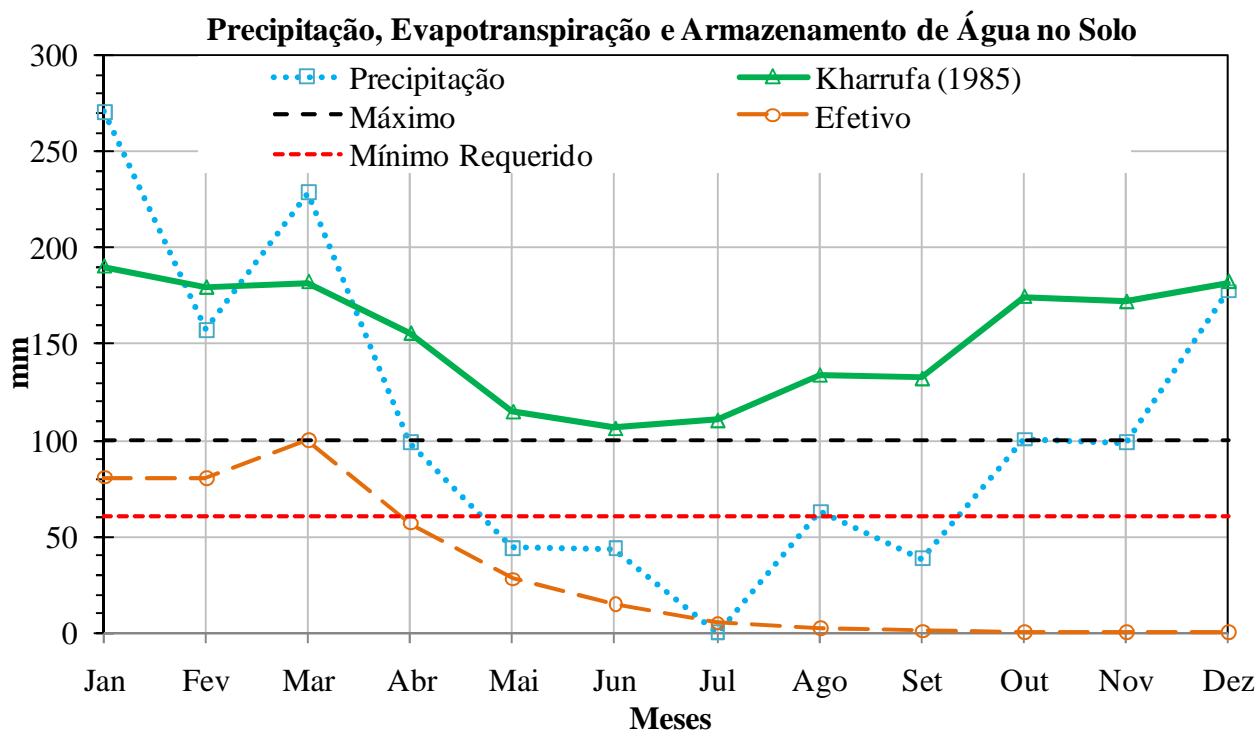


Figura 18 – Precipitação, evapotranspiração potencial estimada por Kharrufa (1985) e armazenamento de água no solo máximo, mínimo e efetivo, para o ano de 2008.

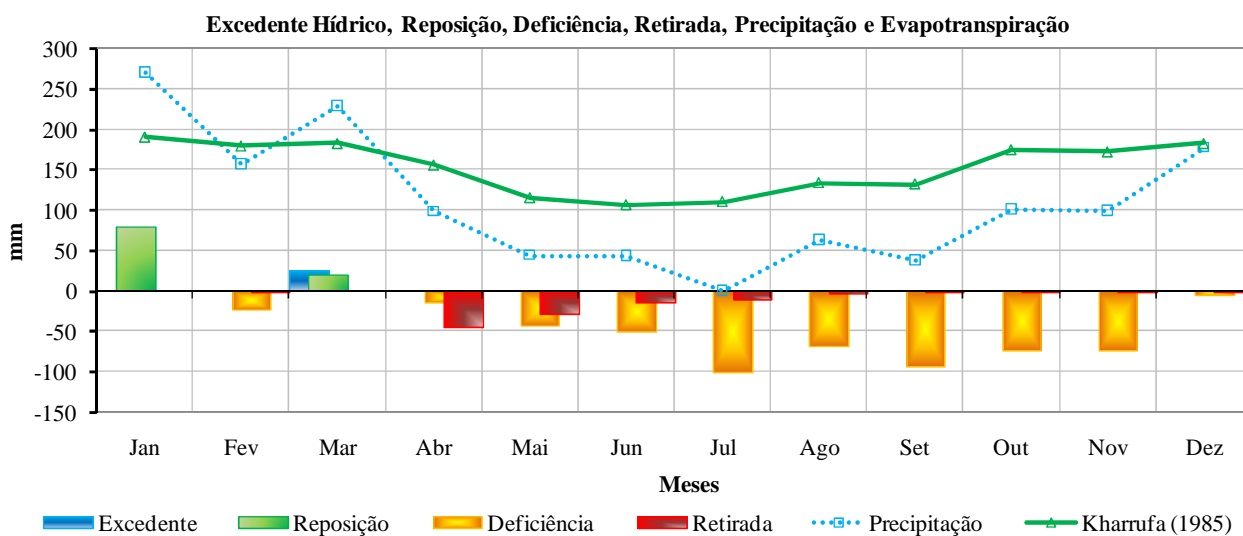


Figura 19 - Excedente hídrico, reposição, deficiência, retirada, precipitação e evapotranspiração potencial estimada por Kharrufa (1985), para o ano de 2008.

3.3 - Aferição dos resultados de balanço hídrico

O balanço hídrico nada mais é do que o computo das entradas e saídas de água de um sistema, ou seja, é um produto do princípio da conservação de massa à água. Pode-se averiguar ou aferir a exatidão dos cálculos executados através do profundo conhecimento dos componentes físicos do balanço hídrico e do princípio fundamental da conservação de massa (Lei de Lavoisier).

Na Tabela 2 são mostradas as aferições dos balanços hídricos obtidos pelos diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração pelo princípio de conservação de massa. Nota-se que

todos os valores obtidos com os métodos de estimativa de evapotranspiração se adequaram ao balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite e Matter (1955) segundo o princípio da conservação de massa aplicado à água.

Tabela 2 – Aferição dos balanços hídricos obtidos pelos diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração pelo princípio de conservação de massa.

Aferição do Balanço Hídrico	Thornthwaite (1948)	Blaney-Criddle (1950)	Hamon (1961)	Linacre (1977)	Hargreaves-Samani-T (1985)	Kharrufa (1985)
	----- mm.ano ⁻¹ -----					
ETP=	1538	1795	982	1016	1628	1832
ETR+DEF=	1538	1795	982	1016	1628	1832
ET=ETR+DEF=	Verdadeiro	Verdadeiro	Verdadeiro	Verdadeiro	Verdadeiro	Verdadeiro
P=	1320	1320	1320	1320	1320	1320
ETR+EXC=	1320	1320	1320	1320	1320	1320
P=ETR+EXC	Verdadeiro	Verdadeiro	Verdadeiro	Verdadeiro	Verdadeiro	Verdadeiro
P-ETP=	-217	-474	339	304	-308	-511
EXC-DEF=	-217	-474	339	304	-308	-511
P-ETP=EXC-DEF	Verdadeiro	Verdadeiro	Verdadeiro	Verdadeiro	Verdadeiro	Verdadeiro
Σ(ALT)=	0	0	0	0	0	0
=0	0	0	0	0	0	0
Σ(ALT) = 0	Verdadeiro	Verdadeiro	Verdadeiro	Verdadeiro	Verdadeiro	Verdadeiro
P=	1320	1320	1320	1320	1320	1320
ETP+(P-ETP)=	1320	1320	1320	1320	1320	1320
P=ETP+(P-ETP)	Verdadeiro	Verdadeiro	Verdadeiro	Verdadeiro	Verdadeiro	Verdadeiro

P - Precipitação; ETR - Evapotranspiração Real; ETP - Evapotranspiração Potencial; DEF - Deficiência; EXC - Excedente Hídrico; ALT – Alteração no Armazenamento.

4 - CONCLUSÕES

Executou-se um estudo do balanço hídrico proposto por Thornthwaite e Matter (1955) utilizando-se de seis diferentes metodologias de estimativa de evapotranspiração que utiliza a temperatura.

Os métodos de estimativa de evapotranspiração utilizados como componente do balanço hídrico climatológico que resultaram em maiores excedentes hídricos, em ordem decrescente, foram: Hamon (1961), 440,2 mm.ano⁻¹; Linacre (1977), 432,1 mm.ano⁻¹; Thornthwaite (1948), 167,6 mm.ano⁻¹; Hargreaves-Samani-T (1985), 99,0 mm.ano⁻¹; Blaney-Criddle (1950), 59,6 mm.ano⁻¹; Kharrufa (1985) 26,6 mm.ano⁻¹.

Conclui-se que, para os dados climatológicos da região estudada, a metodologia para estimativa de evapotranspiração a ser selecionado possui grande influência no resultado final do extrato do balanço hídrico.

A avaliação dos resultados do balanço hídrico com base no princípio de conservação de massa, de modo a se aferir se a metodologia de estimativa de evapotranspiração se enquadrava no balanço hídrico proposto por Thornthwaite e Matter (1955).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq - Brasil (processo 152033/2008-4) e à FAPESP pelos auxílios financeiros que viabilizaram o desenvolvimento deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

- AGUILAR, D.J.; KRUKER, J.M.; CALHEIROS, R. DE O.; SILVA, C.A.S. (1986). “*Determinação da vapotranspiração potencial e balanço hídrico climático da região da Grande Dourados, MS*”. Dourados: EMBRAPA-UEPAE Dourados, 150p.
- BERLATO, M.A., MOLION, L.B. (1981). *Evaporação e evapotranspiração*. Boletim Técnico IPAGRO. Porto Alegre, n.7, pp.3-95.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. (2005). *Manual de irrigação*. 7ª ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 611p.
- BLANEY, H.F.; CRIDDLE, W.D. (1950). “*Determining water requirement in irrigated areas from climatological and irrigation data*”. Washington. USDA Soil Conserv. Serv. TP-96, 48 p.
- CARVALHO, M.A. de; MELLO JUNIOR, A.V.; SCHARDONG, A.; PORTO, R.L.L. (2009). “*Sistema de suporte à decisão para alocação de água em projetos de irrigação*”. Rev. bras. eng. agríc. ambient. v.13, n.1, pp. 10-17 .
- HAMON, W. R. (1961). “*Estimating potential evapotranspiration*”. Journal of Hydraulics Division ASCE, New York, v.87, n.3, pp.107-120.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. (1982). “*Estimation of potential evapotranspiration*”. Journal of Irrigation and Drainage Division ASCE, New York, v.108, n.3, p.225-230.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. (1985). “*Reference crop evapotranspiration from temperature*”. Journal of Applied Engineering in Agriculture, St Joseph, v.1, n.2, p.96-99.
- KHARRUFA, N. S. (1985). “*Simplified equation for evapotranspiration in arid regions*”. Beiträge zur Hydrologie, Kirchzarten, Sonderheft 5.1, p.39-47.
- KIJNE, J.W. (1978). Determinación de la evapotranspiración. In: ILRI. “*Princípios y aplicaciones del drenaje*”. Wageningen. v.3, cap. 19, pp.59-108.
- LINACRE, E. T. (1977). “*A simple formula for estimating evapotranspiration rates in various climates, using temperature data alone*”. Agricultural Meteorology, v.18, pp.409-424.
- MEDEIROS, A.T. (2002). “*Estimativa de evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraipaba, CE*”. Tese Doutorado. Piracicaba: ESALQ, 103p.
- MELLO, J.L.P.; SEDIYAMA, G.C.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D. (1996). *Evaporação e evapotranspiração*. Viçosa: UFV. 62p.
- OMETTO, J.C. (1981). *Bioclimatologia vegetal*. São Paulo: Ceres, 425p.

- PEREIRA, A.R.; VILA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. (1997). *Evapo(transpi)ração*. Piracicaba: FEALQ, 183p.
- SWAMI, M.V.; MATTOS, A. (1975). *Hidrologia Aplicada*. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 246p.
- THORNTHWAITE, C.W. (1948). “*An approach toward a rational classification of climate*”. Geogr. Review, New York, v. 38, n. 1, pp. 55-94.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. (1955). “*The water balance*”. Centerton: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology. Publications in Climatology, v. 8, n. 1. 104p.
- TUCCI, C. E. M. (org.) (2004). *Hidrologia – Ciência e Aplicação*. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 3^a ed., ABRH. 944p.