

ESTIMATIVA DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO: UM ESTUDO DE CASO

Estimation of Climatological Water Balance: A Case Study

Gilmara das Neves SILVA¹
José Geraldo Ferreira da SILVA¹
Wanderson Muniz de SANTANA²

RESUMO:

O Brasil sempre foi conhecido como uma das maiores potências hídricas do planeta. Porém, o mesmo encontra-se no que pode ser considerado como a maior crise hídrica de toda a sua história. O balanço hídrico visa estabelecer a capacidade de armazenamento de água de um determinado solo, através da contabilidade de seus ganhos e perdas hídricas. O mesmo torna-se, portanto, um grande aliado na busca por economia de água em diversas aplicações, principalmente no processo de irrigação agrícola. Além disso, o estudo do balanço hídrico pode ser aplicado à setores como o turismo, construção de barragens e estradas, planejamento urbano entre outros, que envolvam o manejo e manutenção dos recursos hídricos. Este artigo tem como objetivo realizar um estudo de caso na cidade de Teixeira de Freitas, no interior da Bahia, de modo a aplicar-se em um cenário específico os conhecimentos adquiridos sobre o balanço hídrico e suas aplicações.

Palavras-chave: balanço hídrico, balanço hídrico climatológico, agricultura e sustentabilidade, ferramenta computacional.

ABSTRACT:

Brazil has always been known as one of the greatest hydric powers on the planet. However, the same is found in what can be considered as the greatest water crisis in its entire history. The water balance aims to establish the water storage capacity of a given soil, through the accounting of its water gains and losses. It is therefore a great ally in the search for water savings in several applications, especially in the agricultural irrigation process. In addition, the water balance study can be applied to sectors such as tourism, construction of dams and roads, urban planning, among others, that involve the management and maintenance of water resources. This article aims to carry out a case study in the city of Teixeira de Freitas, in the interior of Bahia, in order to apply the knowledge acquired in a specific scenario.

Keywords: Water balance, climatological water balance, agriculture and sustainability, computational tool.

I. INTRODUÇÃO

As atividades humanas demandam uma grande necessidade de utilização de água potável. Esta utilização é importante em todos os setores da sociedade. Segundo Magalhães et al. (2013), face à complexidade dos múltiplos usos e da falta de recursos naturais substitutos, a água tem se tornado cada vez mais escassa, dado o modelo de desenvolvimento vigente muito exigente na oferta desse insumo nos diversos setores produtivos (VICTORINO, 2007).

O Balanço Hídrico Climatológico, ao estabelecer todos os ganhos e perdas hídricas em determinada parcela do solo, torna-se de extrema importância na busca de economia de água em diversas aplicações, principalmente no processo de irrigação. Porém, contabiliza-lo através de equipamentos de alta tecnologia e mão-de-obra especializada é muito dispendioso, tornando tais medidas inacessíveis a grande parte dos agricultores.

Em face dessas dificuldades encontradas, foram desenvolvidos processos indiretos, para estimar o balanço hídrico, a partir de variáveis meteorológicas.

Dentre os principais consumidores, o setor agrícola apresenta-se como o maior utilizador dos recursos hídricos, especialmente na irrigação de culturas agrícolas, conforme esclarece Carmo et al. (2007). Assim, torna-se extremamente importante a adoção de medidas que visem a economia de água, dentro deste e de outros cenários da economia brasileira (MORAES-SANTOS et al. 2015).

O Balanço Hídrico (BH) é o estudo que contabiliza a porção hídrica que um determinado solo é capaz de armazenar. Conhecê-lo, é de extrema relevância, pois, ao fornecer a contabilização de água do solo, é possível haver planejamento e remanejamento hídrico da massa em um volume de solo vegetado (ZEPKA, 2002).

O BH tem se mostrado muito eficiente dentro do contexto agroindustrial, uma vez que através dele, podem-se tomar decisões no sentido de elaborar planejamentos anuais de plantação, fornece a caracterização e variação sazonal das condições do BH (deficiências e excedentes hídricos) ao longo do período em questão, além de ser um Indicador climatológico da disponibilidade hídrica da região (CARMO et al. 2007).

Planejar a utilização dos recursos hídricos no meio agrícola através do balanço hídrico, associado ao entendimento das necessidades da cultura, pode ser uma alternativa muito proveitosa no estabelecimento de estratégias para utilizar de forma eficiente as reservas de água do solo.

II. PROCEDIMENTOS

Para realizar o estudo do balanço hídrico, são necessários os dados iniciais de latitude da cidade e os valores das variáveis meteorológicas de temperatura média mensal do ar mensal e precipitação mensal. Estes dados meteorológicos foram obtidos no endereço <http://www.climatempo.com.br>. Estes valores são médias climatológicas calculadas a partir de uma série de 30 anos de dados observados. Com isto, podem-se obter informações sobre as épocas mais chuvosas/secas e quentes/frias na localidade correspondente.

Além disso, séries temporais mais longas possibilitam análises mais precisas da variação temporal e espacial dos processos hidrológicos (CUNHA et al. 2011). Neste caso obtém-se um balanço hídrico climatológico médio anual. Caso se queira realizar o balanço hídrico do ano em curso, no lugar de utilizar as normais climatológicas, devem-se utilizar as variáveis do referido período.

Realizou-se o Balanço Hídrico Mensal (BHM), calculado para todos os meses do ano, e o Balanço Hídrico Diário (BHD), calculado para um intervalo de 10 dias – dia 1 ao dia 10 do mês de julho de 2016.

O Balanço hídrico mensal será iniciado em janeiro e foi considerado um Capacidade de Água Disponível (CAD) de 100 mm e um valor inicial de armazenamento de água no solo de 100mm.

Para o balanço hídrico diário também será considerado um valor de CAD de 100mm, mas o armazenamento de água no solo será considerado 50mm como ponto de partida.

Na maioria das vezes só se encontra estimativas das temperaturas máximas e mínimas. Assim para obter a temperatura média o sistema deverá obter a temperatura média, através do cálculo da média entre a temperatura mínima e máxima de cada mês. Ou seja: (Temperatura min. + Temperatura máx.) / 2.

A latitude da cidade tem o valor de 17° Sul e encontra-se em: <http://www.geografos.com.br/cidades-bahia/teixeira-de-freitas.php>. Para o caso de uma localidade qualquer esta coordenada de latitude pode ser obtida por meio de um GPS, ou mesmo através de aplicativos de celulares.

Para exemplificar o cálculo das equações, realizar-se-ão os cálculos relativos ao mês de janeiro. A tabela a seguir apresenta os dados para os cálculos do BHM para o mês de janeiro, na cidade de Teixeira de Freitas – Bahia. Dados os valores iniciais:

Precipitação do mês (P)	135.00
Temperatura média do mês (TMédia)	25.50
Fator de Correção (K) – que varia de acordo com a latitude, para o mês de janeiro	01.12

Os cálculos a seguir foram todos realizados de acordo com a formulação de Thornthwaite e Mather (1955). Realizam-se:

Cálculo do índice térmico – I_i :

$$I_i = (T_i / 5)^{1.5} \quad (1) \quad \text{Autor: Thornthwaite e Mather (1955)}$$
$$I_i = (25.50/5)^{1.5}$$
$$I_i = 11.52 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Onde:

I = Índice térmico em $^\circ\text{C}$;

T = Temperatura média do local em $^\circ\text{C}$.

Cálculo do Coeficiente “a”:

$$a = (0,49239 + 1792 * 10^{-5} * I - 771 * 10^{-7} * I^2 + 675 * 10^{-9} * I^3) \quad (2) \quad \text{Autor: Thornthwaite e Mather (1955)}$$

$$a = (0,49239 + 1792 * 10^{-5} * 11.52 - 771 * 10^{-7} * 11.52^2 + 675 * 10^{-9} * 11.52^3)$$
$$a = 0.69$$

Cálculo da Evapotranspiração – ET:

$$ET = 16 * (10 * T / I)^a \quad (3) \quad \text{Autor: Thornthwaite e Mather (1955)}$$
$$ET = 16 * (10 * 25.50 / 11.52)^{0.68}$$
$$ET = 135.4 \text{ mm.}$$

Onde:

ET = Evapotranspiração em mm;

T = Temperatura média do local em °C;

I = Índice Térmico em °C.

Cálculo da Evapotranspiração Potencial:

$$ETP = (ET * COR) \quad (4) \quad \text{Autor: Thornthwaite e Mather (1955)}$$

$$ETP = 131,456 * 01,12$$

$$ETP = 151.6 \text{ mm}$$

Onde:

ETP = Evapotranspiração potencial em mm.

ET = Evapotranspiração em mm;

COR = Fator de correção sem unidade de medida. Fatores de correção são valores estimados pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), para ajustar nas equações a evapotranspiração potencial ao número de dias do mês e à duração do brilho solar diário para as latitudes de cada local. Cada latitude possui seu próprio fator de correção, de acordo com a formulação de Thornthwaite e Mather (1955).

Cálculo da diferença entre a precipitação e a evapotranspiração potencial:

Dá-se através da subtração entre a precipitação (P) e a evapotranspiração potencial (ETP). Neste momento não se leva em consideração o valor de CAD. Quando $P - ETP$ for negativo, significa que esta quantidade de água deverá ser fornecida ao solo através do processo de irrigação.

$$P-ETP = 135.00 - 151.59 \quad (5) \quad \text{Autor: Thornthwaite e Mather (1955)}$$

$$P-ETP = -16.7 \text{ mm}$$

Onde:

P = Precipitação em mm;

ETP = Evapotranspiração potencial em mm;

Negativo Acumulado – NEG ACUM:

Representa a somática dos respectivos valores negativos para $P - ETP$.

NEG ACUM para o primeiro mês: -16.7 mm

Cálculo do armazenamento hídrico – ARM:

$$ARM = CAD * \exp [NEG ACUM / CAD] \quad (6) \quad \text{Autor: Thornthwaite e Mather (1955)}$$

$$ARM = 100 * \exp [-016.5 / 100]$$

$$ARM = 84.7 \text{ mm}$$

Onde:

ARM = Armazenamento hídrico em mm;

CAD = Capacidade de água disponível em mm.

Cálculo da evapotranspiração real – ER:

Se P-ETP for positivo, a evapotranspiração real (ER) será igual a evapotranspiração potencial (ETP) (Será evapotranspirado realmente todo o potencial previsto para que a evapotranspiração possa ocorrer).

Se ALT (Alteração no armazenamento) for negativa, a ER será é igual à precipitação (Uma vez que este será o limite máximo de água contida no solo) + |ALT| (o módulo da alteração no armazenamento).

No caso do mês de janeiro o valor de P-ETP é negativo (-16.6). Assim, a evapotranspiração que realmente irá ocorrer é limitada pela quantidade de água que entrou no solo + 0 (Alteração no armazenamento – ALT), ou seja, seu valor é igual ao de precipitação: 135.0 mm.

Onde:

P = Precipitação em mm;

ER = Evapotranspiração real em mm;

ETP = Evapotranspiração potencial em mm;

ALT = Alteração no armazenamento em mm.

Cálculo da deficiência hídrica – DEF:

$$DEF = ETP - ER \quad (7) \quad \text{Autor: Thornthwaite e Mather (1955)}$$

$$DEF = 151.6 - 135.0$$

$$DEF = 16.6 \text{ mm}$$

Onde:

DEF = Deficiência hídrica em mm;

ETP = Evapotranspiração potencial em mm;

ER = Evapotranspiração real em mm.

Cálculo do excedente hídrico – EXC:

$$EXC = 0.0 \text{ Quando } ARM < CAD \quad (8) \quad \text{Autor: Thornthwaite e Mather (1955)}$$

$$EXC = (P-ETP) - ALT \text{ Quando } ARM = CAD$$

Onde:

EXC = Excedente hídrico em mm;

ARM = Armazenamento hídrico em mm;

CAD = Capacidade de água disponível em mm;

P = Precipitação em mm;

ETP = Evapotranspiração potencial em mm;

ALT = Alteração no armazenamento em mm.

Neste caso, para o CAD com valor equivalente a 100 mm, o excedente hídrico será igual a 0.0 mm.

Realizando-se todos os cálculos explicados anteriormente para todos dos meses do ano, a tabela abaixo apresenta todos os dados para se estimar o BHM para a cidade de Teixeira de Freitas, segundo formulação de Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica para um período de 30 anos: 1986 - 2016. CAD = 100 mm = ARM máximo. A saber, os seguintes valores mensais:

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	M
25.50	26.00	25.50	25.00	24.00	22.00	21.50	22.00	23.00	24.50	25.00	25.50	T (°C)
135.4	136,8	135,4	134,0	131,3	126,3	125,2	126,3	128,8	132,6	134,0	135,4	ET (mm)
01.00	00.90	01.00	00.90	00.90	00.90	00.90	01.00	01.00	01.00	01.00	01.10	COR
151.6	134.1	142.2	131.3	128.7	118.8	121.4	126.4	128.8	141.9	143.4	151.6	ETP (mm)
135.0	091.0	141.0	124.0	089.0	069.0	080.0	061.0	081.0	118.0	183.0	154.0	P (mm)
-16.60	-43.10	-01.20	-07.30	-39.70	-49.80	-41.40	-65.30	-47.80	-23.90	39.50	02.30	P – ETP (mm)
-016.6	-059.6	-061,0	-068.3	-107.9	-157.9	-199.4	-264.8	-312.6	-336.5	-296.9	-294.6	NEG ACUM
84.60	54.90	54.30	50.40	33.90	20.60	13.60	07.00	04.30	03.40	05.10	05.20	ARM (mm)
00.00	-29.60	-00.60	-03.80	-16.50	-13.30	-07.00	-06.50	-02.60	-00.90	01.60	00.10	ALT (mm)
135.0	120.6	141.6	127.8	105.4	082.3	087.0	067.5	083.6	118,9	143,4	151,6	ER (mm)
16.60	13.40	00.50	03.50	23.10	36.50	34.40	58.80	45.10	23.00	00.00	00.00	DEF (mm)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	EXC (mm)

III. RESULTADOS

Todos os cálculos neste primeiro momento foram realizados a próprio punho, para que seja estabelecida uma familiaridade maior com a formulação de Thornthwaite e Mather (1955) e Camargo (1971). Posteriormente, foram desenvolvidas fórmulas matemáticas na ferramenta EXCEL, afim de conferir-se os cálculos realizados.

Muitos estudiosos realizam os cálculos do Balanço Hídrico Climatológico (BHC) de próprio punho ou em planilhas eletrônicas. Esta é uma maneira que está sujeita a falhas. No decorrer desta pesquisa foi desenvolvida uma ferramenta que se utilizou dos recursos tecnológicos de modo eficaz para facilitar a realização deste processo.

Para desenvolver o balanço diário, uma pequena correção foi realizada quanto ao valor de evapotranspiração, visto que a formulação de Thornthwaite e Mather (1955) estabelece-se apenas para uma série de dados mensal. Para o balanço diário, utilizou-se a formulação de Camargo (1971), conforme mostrado anteriormente. A descrição a seguir exemplifica como o cálculo foi realizado:

Temperatura média do ar no dia 1 = 24,5 °C

Latitude de 17° S

Qo = 10,6 mm/dia para a cidade de Teixeira de Freitas.

$$ETP = 0,01 * Qo * T * ND \quad (9) \quad \text{Autor: Camargo (1971)}$$

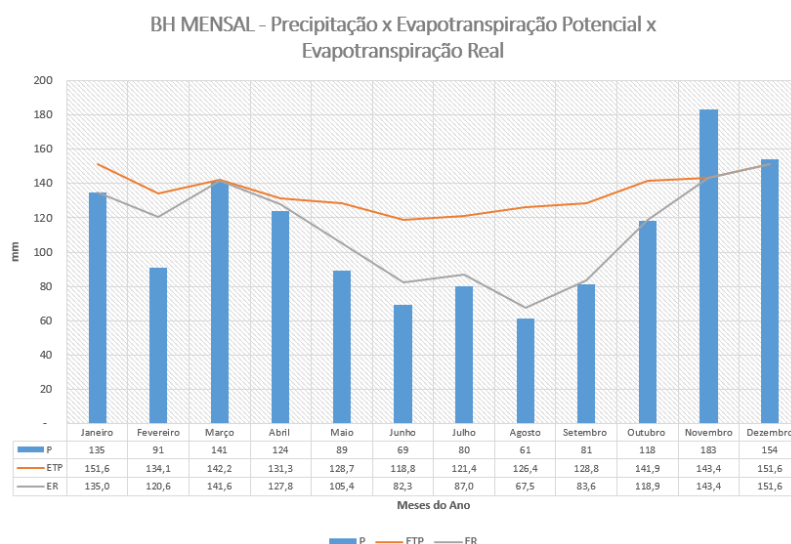
$$ETP = 0,01 * 10,6 * 24,5 * 1$$

$$ETP = 2,59 \text{ mm.d}^{-1}$$

3.1 - Balanço Hídrico Mensal

A Figura 1 apresenta o gráfico de barra e linhas que tem por objetivo comparar a precipitação (P), evapotranspiração potencial (ETP) e a evapotranspiração real (ER) de acordo com os dados fornecidos. A porção do curso em que a coluna de P excedeu a linha de ETP, definiu-se como um período de reposição de água ao solo (mês de novembro).

Figura 1. Balanço Hídrico Mensal – Precipitação versus evapotranspiração potencial versus evapotranspiração real. Média histórica para um período de 30 anos – 1986-2016. CAD = 100 mm = ARM máximo.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Observa-se que os meses de janeiro a abril e outubro a dezembro são os meses em que há maior ocorrência de precipitações, a Figura 1 mostra isso com clareza. O mês de novembro destacou-se por ser o mês com a maior ocorrência. A média mensal de pluviosidade é de 111 mm. Nos meses citados, os valores de temperatura média também foram maiores e conseqüentemente a evapotranspiração potencial. Assim, conclui-se que, os meses em que houve maior abastecimento do solo através da precipitação, também houve maior perda hídrica através da evapotranspiração potencial.

A evapotranspiração real apresentou-se idêntica à evapotranspiração potencial nos meses de novembro e dezembro. Diferenciou-se levemente da ETP nos meses de março e abril, e apresentou uma diferença considerável nos demais meses do ano - a saber, janeiro, fevereiro, maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro.

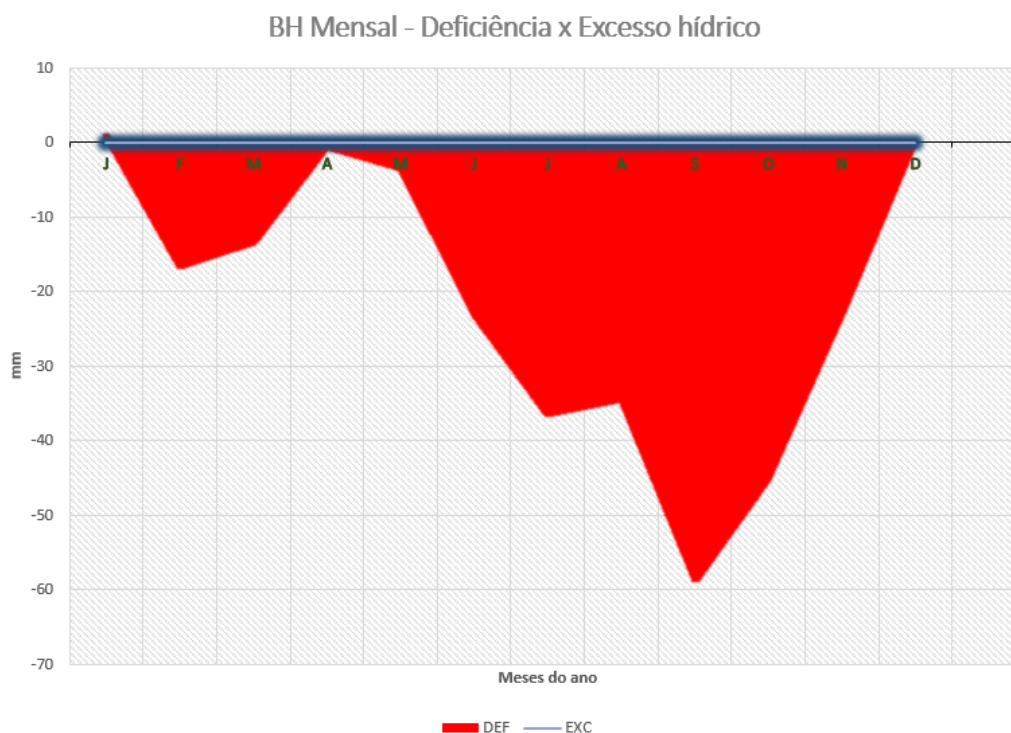
Ao se considerar-se a evapotranspiração mensal, foi possível verificar claramente a relação dos períodos quentes com maiores taxas de evapotranspiração e os frios com taxas menores.

Considerando-se um CAD – capacidade de armazenamento de água, de 100 mm como valor base para um armazenamento máximo, considera-se excedente hídrico uma situação em que o armazenamento de água seja maior do que 100 mm. Em nenhum dos meses estudados verificou-se uma parcela hídrica acima de 100 mm, assim, não houve excedente hídrico entre os meses relacionados. Verifica-se que nos meses de janeiro, abril e dezembro as chuvas foram suficientes apenas para que o déficit fosse zerado.

Na Figura 2 tem-se a comparação gráfica entre a deficiência e o excedente hídrico. Verificou-se uma maior parcela deficitária entre os meses de junho a outubro. O mês que apresentou maior déficit hídrico foi o mês de setembro, seguido por outubro.

O método do BHC mostrou-se válido, à medida que possibilitou a identificação dos períodos com deficiências e excedentes hídricos na cidade de Teixeira de Freitas.

Figura 2. Balanço Hídrico Mensal – Deficiência x excedente hídrico. Média histórica para um período de 30 anos – 1986-2016. CAD = 100 mm = ARM máximo.



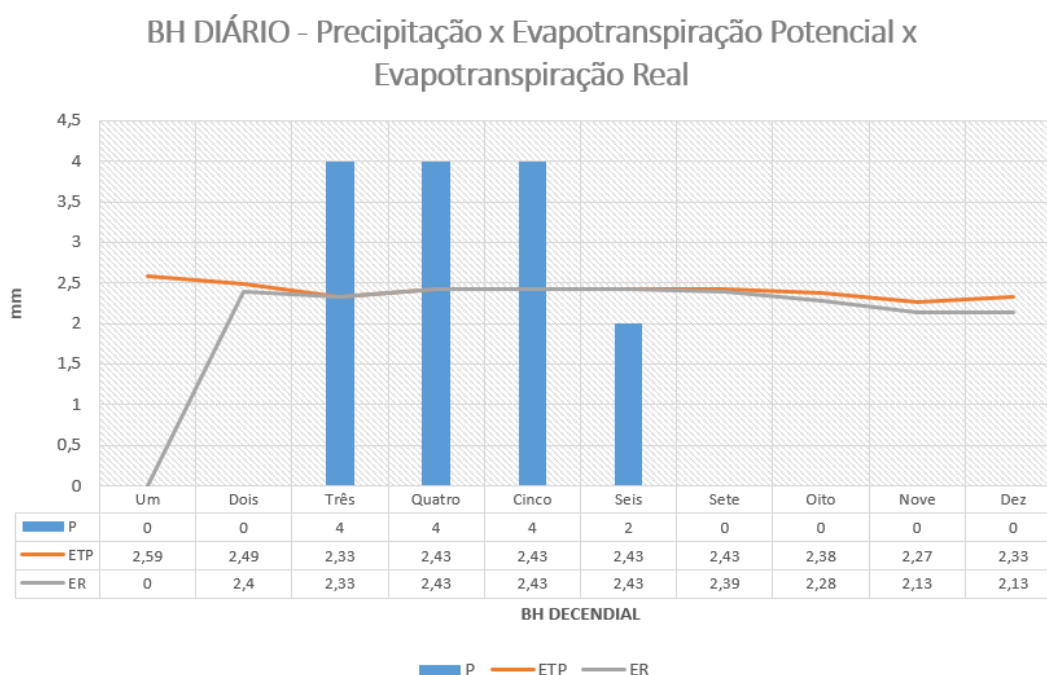
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

3.2 - Balanço Hídrico Diário

A Figura 3 apresenta o gráfico de barra e linhas que teve por objetivo comparar a precipitação (P), evapotranspiração potencial (ETP) e a evapotranspiração real (ER) de acordo com os dados fornecidos. A porção do curso em que a coluna de P excedeu a linha de ETP, definiu-se como um período de reposição de água ao solo (dias 3, 4 e 5).

Assim como no balanço hídrico mensal, ao analisar-se o balanço hídrico diário foi possível verificar claramente a relação dos períodos quentes com maiores taxas de evapotranspiração e os frios com taxas menores.

Figura 3. Balanço Hídrico Diário – Precipitação versus evapotranspiração potencial versus evapotranspiração real. Dados referentes aos 10 primeiros dias do mês de julho de 2016. CAD = 100 mm = ARM máximo.



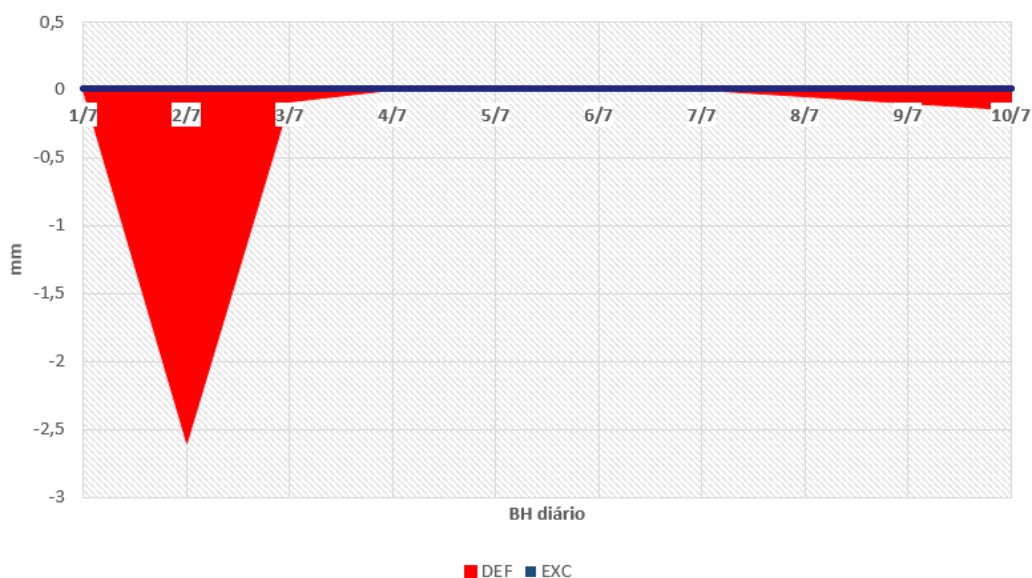
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A Figura 4 realiza a comparação gráfica entre a deficiência e o excedente hídrico diário.

Considerando-se um CAD, de 100 mm como valor base para um armazenamento máximo, considerou-se excedente hídrico uma situação em que o armazenamento de água seja maior do que 100 mm. Em nenhum dos meses estudados verificou-se uma parcela hídrica acima de 100 mm, assim, não houve excedente hídrico entre os dias relacionados. Verificou-se uma maior parcela deficitária no dia 2. Os dias 4, 5, 6 e 7 não apresentaram déficit hídrico.

Figura 4 Balanço Hídrico Diário – Deficiência versus excedente hídrico. Dados referentes aos 10 primeiros dias do mês de julho de 2016. CAD = 100 mm = ARM máximo.

BH Diário - Deficiência x Excesso hídrico



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

IV. CONCLUSÃO

Ao longo da nossa investigação foi possível concluir que o conhecimento prévio do BH, bem como dos fenômenos hidrológicos, proporciona subsídios que fundamentam a tomada de decisões e ajudam em um planejamento de manejo de uso racional dos recursos hídricos, o que permitiria adequar os fatores socioeconômicos aos ambientais. O trabalho forneceu um entendimento crucial a respeito dos conceitos de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável. Também relacionou o desenvolvimento do setor agrícola com o desenvolvimento sustentável. Foram apresentadas todas as variáveis e cálculos do BH, de acordo com a formulação de Thornthwaite e Mather (1955) e demais contribuições de estudiosos da atualidade.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMARGO, A.P. Balanço hídrico no Estado de São Paulo. Boletim Técnico n. 116, IAC, 1971.
- CARMO, R. L., OJIMA, A. L. R O., OJIMA, R., NASCIMENTO, T. T. Água virtual, escassez e gestão: O Brasil como grande “exportador” de água. Ambiente e Sociedade. Campinas, SP, Brasil. V.X, n 1. P. 83-96. Jan-jun, 2007.
- CUNHA, M.C.; OLIVEIRA E.D.; THOMAZ, E.L.; VESTENA, L.R. Análise temporal do Balanço Hídrico na Bacia do rio das Pedras. Revista brasileira de geografia física, UFPE, ISSN: 1984-2295, Guarapuava - PR, 2011.
- MAGALHÃES, P. S; GOMES, A. S; PIRES, M. M. POZZEBON, E. J; ROSADO, P. L. Demanda de água para agricultura irrigada na sub-bacia de transição do rio das contas, Bahia, Brasil. RBRH - Revista brasileira de recursos hídricos. Volume 18 n. 3 - Jul/Set 2013, 127-137. Bahia, 2013.
- MORAES-SANTOS, E.C.; SOUZA, T. M.; BALESTIERI, J. A. P. The use of solar water heating system and the financial economy and electricity – Case study in municipality of Tremembé, São

Paulo, Brazil. Sodebras, São Paulo, v. 10, n. 116, p. 101-104, Agosto/2015.

THORNTHWAITE, C. W. & MATHER, J. R. The water balance. Publications in Climatology. 104 p. New Jersey, Drexel Inst. of Technology, 1955.

VICTORINO, C. J. A. Planeta água morrendo de sede. Uma visão analítica na metodologia do uso dos recursos hídricos. Editora: EdiPUCRS. Porto Alegre, 2007.

ZEPKA, G. S. Análise do balanço hídrico para a cidade de Pelotas, Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Meteorologia. RS. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia. 7, 2002, Foz de Iguaçu-PR. Anais. Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1 CD-ROM. Foz do Iguaçu, 2002.

VI. COPYRIGHT

Direitos autorais: O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo material incluído no artigo.