

AValiação DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NA SUB-BACIA DO BOI BRANCO ATRAVÉS DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO E DE CULTIVO

MARIANA ALEXANDRE DE LIMA SALES¹; RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ ROMÁN²; LEONOR RODRÍGUEZ SINOBAS³; RAIMUNDO NONATO FARIAS MONTEIRO⁴ E JOÃO VICTOR RIBEIRO DA SILVA DE SOUZA⁵

¹ *Tecnóloga em Irrigação e Drenagem, Doutoranda em Agronomia (Irrigação e Drenagem) – Departamento de Engenharia Rural. FCA/UNESP. Rua José Barbosa de Barros, 1780, CEP 18610-307, Botucatu – SP, e-mail: mal_sales@hotmail.com.*

² *Eng. de Irrigação e Drenagem, Prof. Doutor no departamento de Engenharia Rural. FCA/UNESP. Rua José Barbosa de Barros, 1780, CEP 18610-307, Botucatu, SP. Fone: (14) 3711-7100. E-mail: rmsroman@fca.unesp.br.*

³ *Eng. Agrônoma, Profa. Doutora ETSIA/UPM, Ciudad Universitaria, 28040 Madri, Espanha. e-mail: leonor.rodriguez.sinobas@upm.es.*

⁴ *Tecnólogo em Recursos Hídricos/Irrigação, Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem) – FCA/UNESP. Rua José Barbosa de Barros, 1780, CEP 18610-307, Botucatu – SP, e-mail: raimundomonteiro@live.com.*

⁵ *Eng. Agrônomo, Doutorando em Agronomia (Irrigação e Drenagem). Departamento de Engenharia Rural. FCA/UNESP. Rua José Barbosa de Barros, 1780, CEP 18610-307, Botucatu – SP, e-mail: mim_joao@hotmail.com.*

1 RESUMO

Uma das formas de contabilizar a quantidade de água de um determinado sistema é por meio do balanço hídrico, o qual é uma importante ferramenta para o processo de avaliação do ciclo da água em uma determinada região. O objetivo deste trabalho foi determinar o balanço hídrico na sub-bacia hidrográfica do Boi Branco-SP, para servir como ferramenta ao planejamento hidroagrícola e ambiental da região. Para o balanço hídrico climatológico, utilizaram-se dados da série histórica da região (1971 a 1995). Os dados de evapotranspiração foram estimados pelo método de Thornthwaite. O balanço hídrico climatológico mostrou déficit hídrico total anual de 10,1 mm, e um excedente de 319,7 mm, tendo no mês de janeiro um excedente de 92,6 mm, para a precipitação média mensal; com a precipitação efetiva mensal com probabilidade de 75%, déficit hídrico no solo é de 238,8 mm e o excedente 56,8 mm. Quando se adiciona a esses dados os das culturas implantadas na área de estudo, como coeficiente de cultivo e fator de depleção da umidade do solo, observa-se que todas as culturas do estudo apresentaram déficit hídrico em todos os meses em que estiveram no campo.

Palavras-chave: Planejamento hidroagrícola, capacidade de água disponível no solo, evapotranspiração.

SALES, M. A. L.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.; SINOBAS, L. R.; MONTEIRO, R. N. F.; SOUZA, J. V. R. S.

ASSESSMENT OF WATER AVAILABILITY IN THE BOI BRANCO SUBBASIN THROUGH CLIMATOLOGICAL AND CULTIVATION WATER BALANCE

2 ABSTRACT

One way to calculate the amount of water in a certain system is by means of the water balance, an important tool for the assessment of the water cycle in a specific region. The main goal of this work was to establish the water balance in the Boi Branco-SP subbasin, so that it can be used as a tool for the hydro-agricultural and environmental planning of the region. For the climatic water balance, data of the historical series of the region (1971 - 1995) were used. Evapotranspiration data were estimated by the Thornthwaite method. The climatic water balance showed a total annual water deficit of 10.1 mm, and a surplus of 319.7 mm, with January presenting a surplus of 92.6 in the average monthly precipitation; with the effective monthly precipitation presenting a probability of 75%, water deficit in the soil is 238.8 mm and surplus is 56.8 mm. When these data are added to the ones of the crop, as a crop coefficient and soil humidity depletion factor, it is observed that all crops studied showed water deficit in all the months covered.

Keyword: Water agricultural planning, water capability available in the soil, evapotranspiration.

3 INTRODUÇÃO

O balanço hídrico do solo é a somatória das quantidades de água que entram e saem de uma determinada área em um determinado intervalo de tempo. A entrada de água é representada pela precipitação pluvial e a saída pela evapotranspiração. O resultado é a quantidade líquida de água que nela permanece disponível às plantas (TUBELIS, 2001; TOMASELLA e ROSSATO, 2005). O conhecimento sobre o regime hídrico em uma bacia hidrográfica é essencial, tornando-se fator imprescindível para um gerenciamento adequado dos recursos hídricos (SANTOS et al., 2009).

Segundo Tubelis (2001), os sistemas agrícolas são fortemente influenciados pela quantidade de água precipitada. A precipitação é entendida em hidrologia como toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre (BERTONI e TUCCI, 2009). Garcez e Alvarez (1988) discorrem que na prática são as chuvas que apresentam maior interesse, sobretudo em nossa latitude. A quantidade precipitada é usualmente representada em milímetros de seu estado líquido, que cai sobre uma determinada região, em um determinado intervalo de tempo, geralmente sua medida é feita em pluviômetros.

A evapotranspiração, parâmetro de saída de água do sistema, representa a demanda hídrica de uma região, é dependente única e exclusivamente das condições climáticas presentes no local (MANTOVANI, BERNARDO E PALARETTI, 2009). Inclui a evaporação de água do solo, de superfícies líquidas, como rios e lagos, e a transpiração das plantas através das folhas. É expressa em volume por unidade de tempo. O conhecimento da evapotranspiração é de grande relevância na estimativa da necessidade de irrigação das culturas, sendo um dos primeiros fatores que deve ser conhecido para um eficaz manejo racional de recursos hídricos (BACK, 2007).

Da água que chega ao solo, essa pode infiltrar e assim percolar para camadas mais profundas, ficar armazenada na parte porosa do solo ou escoar. De acordo com Gonzáles e Alves (2005), o armazenamento de água no solo varia em função da quantidade de água que entra no perfil e dos fatores que contribuem para que esta permaneça retida. Tradicionalmente, a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) são

considerados como os limites máximo e mínimo, respectivamente, de água disponível para as plantas. Com os valores desses limites, pode-se determinar a capacidade de armazenamento de água disponível no solo, considerando a profundidade do sistema radicular (CARDOSO, 2011).

Na atualidade, em que se precisa da sustentabilidade dos recursos naturais, torna-se necessário buscar na agricultura, práticas para uma gestão cada vez mais ecologicamente correta, principalmente quando se fala em agricultura irrigada. O balanço hídrico é uma prática que permite com o conhecimento dos dados históricos de precipitação e de evapotranspiração de uma área, estimar a quantidade de água armazenada pelo solo em cada período estudado, sejam diária, quinzenal ou mensal.

O presente estudo foi desenvolvido para determinar o balanço hídrico climatológico mensal e o balanço hídrico de cultivo para controle da irrigação na sub-bacia do Boi Branco-SP com os dados de precipitação e temperatura disponíveis.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A sub-bacia do córrego do Boi Branco está localizada na região sudoeste do estado de São Paulo, com uma área de 80,71 km². A área da sub-bacia está inserida no domínio dos Latossolos Vermelhos, textura argilosa. De acordo com o Departamento de Água e Energia Elétrica (DAEE), essa é uma das quatro sub-bacias da região considerada crítica quanto à disponibilidade hídrica (ASPPIP-FEHIDRO, 2011).

O clima da região segundo Köppen é do tipo Cwa, caracterizado como clima temperado úmido, apresentando inverno seco (temperaturas inferiores a 18°C), e chuvas no verão (temperaturas superiores a 22°C). Esse clima abrange toda a parte central do estado de São Paulo (MIRANDA et al., 2014).

No cálculo do balanço hídrico climatológico utilizou-se dados de precipitação, evapotranspiração e capacidade de água disponível (CAD).

4.1 Precipitação

Os dados pluviométricos foram obtidos junto ao DAEE. Na Tabela 1 são apresentadas as localizações dos postos utilizados e o período em que se têm dados. Para a realização do balanço hídrico utilizaram-se os dados de precipitação média mensal durante a série de dados compreendida de março de 1971 a março de 1995.

Tabela 1. Localização dos pluviômetros.

Posto	Município	Longitude (W)	Latitude (S)	Altitude (m)	Período com dados
E5-065	Paranamanema	48°53'	23°26'	610	Mar/71-Mar/95
E5-067	Itapeva	48°50'	23°38'	740	Jul/70-Dez/98

Fonte: DAEE (2015).

Foi necessário realizar o preenchimento de falhas nas séries pluviométricas, utilizando-se o Método da Ponderação Regional (Equação 1). Em seguida foi realizada a verificação da consistência dos dados preenchidos pelo Método de Dupla Massa, ambas metodologias descritas por Bertoni e Tucci (2009).

$$y = \frac{1}{3} \left[\frac{x1}{xm1} + \frac{x2}{xm2} + \frac{x3}{xm3} \right] ym \quad (1)$$

onde, y é a precipitação correspondente ao mês que deseja preencher; $x1$, $x2$ e $x3$ correspondem às precipitações registradas pelas estações vizinhas; $xm1$, $xm2$ e $xm3$ equivalem às médias de precipitação mensais das respectivas três estações vizinhas; e ym a precipitação média mensal no posto pluviométrico em que está preenchendo os dados.

Para conhecer a precipitação média na sub-bacia, realizou-se a análise de precipitação pelo Método de Polígonos de Thiessen. Essa é calculada pela média ponderada entre a precipitação de cada estação e o peso a ela atribuído, que é a área de influência da precipitação de cada ponto (Equação 2).

$$Pm = \frac{(P(1) * A(1)) + (P(2) * A(2))}{At} \quad (2)$$

Onde, Pm : precipitação média mensal dentro da sub-bacia (mm); P : precipitação média mensal em cada posto (mm); A : área que cada posto representa (km²); At : área total da sub-bacia (km²).

Foi utilizada a metodologia proposta por Kimball, descrita por Mesquita, Griebeler e Oliveira (2009) (Equação 3), para estimar a precipitação com probabilidade de ocorrência de 25 e 75%.

$$F = \frac{m}{n + 1} \quad (2)$$

Onde, F : probabilidade de ocorrência de precipitação; m : valor da ordem, onde varia de 1 a n ; n : número de dados disponíveis.

A partir dos dados de precipitação média mensal foram estimadas as precipitações efetivas, que representa a parte da precipitação total, que infiltra no solo, mas que fica nas camadas mais superficiais. O restante da água é contabilizado como perdas por escoamento superficial e por drenagem profunda. Utilizando o método proposto pelo USDA Soil Conservation Service (USDA-SCS) (CLARKE, 1998 apud BARBOSA, TEIXEIRA E GONDIM, 2005) (Equações 4 e 5).

$$Pr_{ef} = \frac{P * (125 - 0,2 * P)}{125} \quad ; \text{ para } P < 250 \text{ mm} \quad (3)$$

$$Pr_{ef} = 125 + 0,1 * P \quad ; \text{ para } P \geq 250 \text{ mm} \quad (4)$$

Onde, Pr_{ef} : Precipitação efetiva (mm mês⁻¹); P = Precipitação total (mm mês⁻¹).

4.2 Evapotranspiração

A evapotranspiração potencial (ET) foi estimada pelo método de Thornthwaite para temperaturas entre 0 a 26°C (Equação 6). Essa metodologia leva em consideração apenas os dados de temperatura média do ar como variável climática na estimativa da ET_o, com isso fez-

se necessário a estimativa dos dados de temperatura média do ar, por não haver séries históricas dessa variável para a área de estudo. Utilizou-se a equação proposta por Oliveira Neto et al. (2002) (Equação 7), para a estimativa da temperatura média do ar, a partir dos dados de latitude, longitude e altitude para os dois postos pluviométricos representativos na área. A contribuição da temperatura estimada dentro da área da sub-bacia foi determinada pela metodologia de Thiessen (Equação 2), já citada anteriormente.

$$ET = 16 * (10 * Tm / I)^a \quad (6)$$

Onde, ET: evapotranspiração potencial (mm); Tm: temperatura média mensal (°C); I: é um índice térmico anual; a é uma constante que varia de local para local.

$$Tm = \beta_0 + (\beta_1 * Lat) + (\beta_2 * Long) + (\beta_3 * Alt) + (\beta_4 * Alt^2) + (\beta_5 * TX) \quad (7)$$

Onde, Tm: temperatura média ou temperatura máxima (°C); Lat: latitude (°); Long: longitude (°); Alt: altitude (m); $\beta_{1...5}$: coeficientes tabelado para cada parâmetros; TX: 1, pois de acordo com a figura neste trabalho, a área se encontra no bloco 2.

Na fazenda Olhos D'Água, que fica situada dentro da sub-bacia, foram coletados durante os anos de 2009 a 2012 dados de temperatura mínima e máxima, podendo assim calcular a temperatura média na fazenda. Dessa forma, foi possível validar os resultados obtidos com a equação proposta por Oliveira Neto et al. (2002).

A metodologia de Thornthwaite estima valores de ET para um mês com 30 dias, com 12 horas de fotoperíodo diário, fazendo-se necessário a utilização de um fator de correção, que corrija estes valores com base nas condições locais (PEREIRA, ANGELOCCI E SENTELHAS, 2007). Os valores de correção foram calculados utilizando a metodologia descrita por Pereira, Angelocci e Sentelhas (2007) (Equação 8).

$$Cor = (ND / 30) * (N / 12) \quad (8)$$

Onde, Cor: fator de correção (adimensional); ND: número de dias do mês em questão; N: fotoperíodo médio do mês em questão (horas).

4.3 Armazenamento de água no solo

Para o cálculo da capacidade de armazenamento de água no solo (CAD), foram utilizados dados de umidade do solo na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP), em porcentagem; densidade aparente (da), em $g\ cm^{-3}$ e profundidade da camada equivalente (profundidade efetiva do sistema radicular - z), em centímetros (Equação 9).

$$CAD = \left(\frac{CC - PMP}{10} \right) * da * z \quad (9)$$

Para determinação das variáveis CC, PMP e da , foram coletadas 22 amostras de solo deformadas e indeformadas. As amostras indeformadas foram coletadas em anéis de 2,5 cm de altura por 5 cm de diâmetro, a aproximadamente 20 cm de profundidade. As análises foram realizadas no Laboratório de Relação Água-Solo do Departamento de Engenharia Rural da

FCA/UNESP/Botucatu. A metodologia utilizada para determinar a CC, PMP e da foi à proposta pela EMBRAPA (1997), onde foram utilizadas as tensões de 0,1 e 15 bar, obtendo o resultado de CC e PMP respectivamente.

Adotou-se a profundidade de 40 cm para realizar o balanço hídrico climatológico, pois é nessa profundidade que a maioria das culturas implantadas na sub-bacia está com o sistema radicular efetivo.

4.4 Balanço hídrico climatológico

O balanço hídrico climatológico foi calculado pelo método proposto por Thornthwaite e Mather (1955 apud VIANELLO e ALVES, 2012), que leva em consideração a profundidade de exploração efetiva das raízes e das constantes físicas do solo como capacidade de campo, ponto de murcha permanente e densidade aparente do solo (VIANELLO e ALVES, 2012). Utilizou-se uma folha eletrônica da Microsoft Office EXCEL para realização dos cálculos.

Após efetuar os cálculos do balanço hídrico climatológico, Pereira, Angelocci e Sentelhas (2007) relatam que o ideal é que se averigüe a exatidão, para que possa determinar se o mesmo foi realizado corretamente pelas equações abaixo.

$$\Sigma P = \Sigma ETP + \Sigma (P - ETP) \quad (10)$$

$$\Sigma P = \Sigma ETR + \Sigma EXC \quad (11)$$

$$\Sigma ETP = \Sigma ETR + DEF \quad (12)$$

Onde, P: precipitação, ETP: evapotranspiração potencial, ETR: evapotranspiração real, EXC: Excedente hídrico no solo, DEF: deficiência de água no solo.

4.5 Balanço hídrico de cultivo para controle de irrigação

Segue-se o mesmo procedimento do balanço hídrico climatológico, com diferença de que se utiliza a evapotranspiração da cultura no lugar da evapotranspiração potencial e o armazenamento máximo de água no solo (CAD) é apenas uma porcentagem da água total disponível no solo (água entre CC e PMP), pois este considera o fator de depleção de água no solo. Para verificar a irrigação, basta conferir a quantidade de água no solo, ou seja, quando a CAD estiver com valor igual a zero, deve haver irrigação para elevar ao máximo a quantidade de água disponível no solo para as plantas (PEREIRA, ANGELOCCI E SENTELHAS, 2007).

Para seu cálculo será utilizada a precipitação diária com 75% de probabilidade de retorno e a evapotranspiração mensal será dividida pelo número de dias do respectivo mês. Os cálculos foram realizados diariamente, porém serão apresentados os valores de deficiência de água no solo no período mensal. Esses cálculos foram realizados considerando que se semeia e colhe na metade de cada mês.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Precipitação

Na Tabela 2 observam-se os valores médios mensais das precipitações de cada posto pluviométrico estudado. Os valores médios de precipitação dos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, maio, agosto, setembro e novembro do posto pluviométrico E5-065 foram obtidos a partir de dados em que alguns foram oriundos do preenchimento de falhas de precipitação, enquanto que no posto E5-067 apenas a média do mês de fevereiro foi obtida com um dos valores preenchidos.

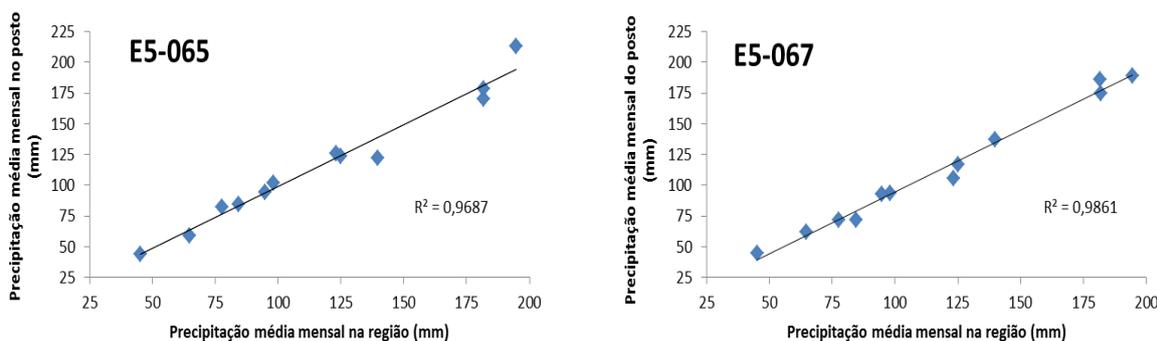
Tabela 2. Precipitação média mensal e total anual nos postos (mm).

Mês/Posto	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
	mm												
E5-065	213	171,5	122,7	84,3	101,8	82,5	58,9	44,2	95,6	125,5	123,5	178,6	1.399
E5-067	189,7	175,6	137,4	71,7	93,7	71,5	61,8	45	92,7	105,2	116,5	185,9	1.345

Pode-se observar que a distribuição mensal da precipitação na região do estudo apresenta uma média de grande variabilidade temporal. Os meses mais chuvosos são os de dezembro, janeiro e fevereiro, com um valor máximo no mês de janeiro para ambos os postos. Os meses mais secos são os de junho, julho e agosto, com o valor mínimo no mês de agosto. Observa-se que não houve uma diferença discrepante entre os valores das precipitações médias dos postos pluviométricos, pois o coeficiente de variação foi de 1,98%, o que pode ser explicado pela proximidade entre os postos pluviométricos, os quais encontravam-se 22,8 km distantes entre si.

A Figura 1 apresenta as curvas de duplas massas com consistência da série histórica em cada posto com a média das estações vizinhas. Foi observado que no posto E5-065 haviam maiores números de falhas em relação ao E5-067, obtendo assim, um valor menor de coeficientes de determinação (R^2). Observa-se uma consistência das séries históricas com comportamento linear e R^2 próximos de um, descartando-se a possibilidade de haver erros grosseiros nos dados.

Figura 1. Análise de consistência dos dados dos postos pluviométricos do estudo.



Na Tabela 3, observa-se que a sub-bacia do Boi Branco apresenta valor médio ponderado anual de precipitação pluviométrica de 1.380,3 mm por ano, com volumes máximos e mínimos de 204,42 e 44,51 mm para os meses de janeiro e agosto, respectivamente.

Tabela 3. Precipitação média (mm) na sub-bacia do Boi Branco estimada pelo método dos polígonos de Thiessen.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	Mm											
Precip*	204,4	171,9	127,3	79,9	99,0	78,7	59,9	45,0	93,9	118,4	121,0	181,2

*Precipitação

Sarmento et al. (2011) realizando uma análise da precipitação na bacia hidrográfica do rio Forqueta-RS, com área de 791,08 km², concluíram que o método de isoietas é o que melhor representa o valor estimado da precipitação na área, pois este leva em consideração as características de relevo, e o método de Thiessen apresenta resultados semelhantes aos métodos das isoietas.

No período de estudo, observou-se que a maior precipitação ocorreu no ano de 1983 com um valor de 2.004,5 mm e o menor valor em 1985 com 867,5 mm. Realizando os cálculos descritos por Kimball, obteve-se com probabilidade de ocorrência de 25%, a precipitação total anual no valor de 1.532,7 mm, valor observado no ano de 1986; enquanto que no ano de 1975 foi observado precipitação de 1.186,9 mm para uma probabilidade de 75% de retorno. Na Tabela 4 podem ser observados os valores totais mensais e anual para esses anos.

Tabela 4. Valores da precipitação mensal (mm) dos anos de 1975 e 1986.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
	Mm												
1975	81,5	247,6	73,8	23,7	32,3	33,0	69,6	9,6	84,3	131,6	76,5	223,3	1.186,9
1986	235,9	297,9	102,4	82,2	22,6	2,2	23,4	161,9	65,0	67,7	34,1	237,3	1.532,7

Na Tabela 5, observa-se os valores de precipitação efetiva, calculadas com as equações 4 e 5, para a precipitação média mensal e precipitação média com 75% e 25% de probabilidade de ocorrência. Houve uma redução média da precipitação de 22% entre os valores de precipitação total e a efetiva, para a precipitação com probabilidade de 75% e 25% essas reduções foram respectivamente de 25% e 30%. Isso se explica porque a precipitação efetiva não leva em consideração alguns elementos que compõem a precipitação total como percolação profunda da água no solo e o escoamento superficial (DASTANE, 1974 apud SAMPAIO et al. 2000).

Tabela 5. Precipitação efetiva (mm) para os valores de média mensal, 75% e 25% de probabilidade de ocorrência.

Pr _{ef}	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	Mm											
Média	137,6	124,6	101,3	69,6	83,3	68,7	54,2	41,3	79,8	95,9	97,6	128,7
Prob _{75%}	70,9	149,5	65,0	22,8	30,6	31,3	61,9	9,5	72,9	103,9	126,7	143,5
Prob _{25%}	146,9	154,8	85,6	71,4	98,6	2,2	22,5	120	58,3	60,4	105,3	147,2

*Pr_{ef} – Precipitação efetiva

5.2 Evapotranspiração

Nos resultados apresentados na Tabela 6, verifica-se que não há diferença discrepante nos dados de temperatura média do ar entre os dois postos, isso ocorreu devido à proximidade entre os dois postos.

Tabela 6. Valores calculados das temperaturas (°C) mínima, média e máxima referentes aos postos pluviométricos e o valor de temperatura média ponderada dentro da sub-bacia.

Postos	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	mm											
E5-065	23,4	23,4	23,4	22,6	24,2	19,4	19,4	22,8	19,1	21,0	22,7	22,7
E5-067	22,5	22,5	22,5	22,5	24,7	19,9	19,9	24,1	18,4	20,0	21,8	21,9
Média	23,1	23,1	23,1	22,6	24,4	19,6	19,6	23,2	18,9	20,6	22,4	22,4

Na Tabela 7 observa-se que as médias mensais de temperatura média do ar estimadas foram similares as médias dos valores encontrados na fazenda Olhos D'Água. Assim, por esses valores serem próximos, optou-se em utilizar os da fazenda, por serem dados reais.

Tabela 7. Temperaturas (°C) obtidas na fazenda Olhos D'Água - (A) e pela metodologia de Oliveira Neto et al. (2002) - (B).

Temp.	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	°C											
A	23,4	24,4	23,9	23,1	22,1	19,6	19,5	20,2	20,6	23,0	22,8	23,8
B	23,1	23,1	23,1	22,6	24,4	19,6	19,6	23,2	18,9	20,6	22,4	22,4

*Temp. - temperatura

Na Tabela 8, são apresentados os valores estimados da ET pelo método de Thornthwaite, em escala mensal na sub-bacia do Boi Branco.

Tabela 8. Valores da evapotranspiração (ET) média total mensal para a sub-bacia do Boi Branco (mm).

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	mm											
ET	98,1	109,7	104,5	95,5	84,9	62,9	61,7	67,7	71,5	94,7	91,9	103,3

Observa-se que a menor evapotranspiração ocorreu no mês de julho com um valor mensal de 61,7 mm, e seu maior valor no mês de fevereiro com 109,7 mm. Obtendo uma evapotranspiração total anual de 1.046,4 mm. Na Tabela 9 estão os valores de correção da evapotranspiração, para cada posto, assim como a média desses valores.

Tabela 9. Valores de correção (Cor) para os postos pluviométricos E5-065 e E5-067 e a média do valor na sub-bacia do Boi Branco.

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
E5-065	1,14	0,99	1,04	0,96	0,94	0,89	0,93	0,96	0,99	1,08	1,09	1,15
E5-067	1,15	1,00	1,05	0,95	0,93	0,88	0,91	0,96	0,99	1,09	1,1	1,16
Média	1,14	0,99	1,04	0,96	0,94	0,89	0,92	0,96	0,99	1,08	1,09	1,15

Na Tabela 10, apresenta-se os valores de ETP corrigida para cada mês na sub-bacia.

Tabela 10. Valores da evapotranspiração potencial (ETP) – corrigida (mm).

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	Mm											
ETP	111,8	108,6	108,6	91,7	79,8	56,0	56,8	65,0	70,8	102,3	100,2	118,8

Figueredo Júnior et al. (2005) relatam que Thornthwaite tende a limitar a representatividade das condições climáticas para efeito da estimativa da evapotranspiração potencial, sendo assim, o método deve ser utilizado apenas como parâmetro norteador para a determinação da ordem de grandeza da evapotranspiração.

5.3 Armazenamento de água no solo

Os resultados de densidade aparente do solo tiveram uma variação absoluta de aproximadamente $0,26 \text{ g cm}^{-3}$, sendo o intervalo de variação de $1,09$ a $1,35 \text{ g cm}^{-3}$, com média de $1,22 \text{ g cm}^{-3}$. De acordo com Reichardt (1990), esses valores podem ser considerados de um solo argiloso, isso porque os valores ficaram na faixa de $1,0$ a $1,4 \text{ g cm}^{-3}$. Os valores de porosidade variaram entre $48,94$ a $58,84\%$, com uma média de 54% . Reichardt e Timm (2004) afirmam que, de modo geral, os solos argilosos possuem porosidade total na faixa de 52 a 61% .

Na Tabela 11, estão os valores da DTA, CTA e CRA, assim como os valores encontrados para determinar a umidade na CC e PMP.

Tabela 11. Água disponível no solo.

	Peso Sat	Peso CC	Peso PMP	Peso Seco	μ CC	μ PMP	CAD
	g				%		mm
Mínimo	73,74	69,82	67,50	53,51	22,90	18,39	10,35
Máximo	88,40	83,95	81,55	66,39	33,71	26,92	33,02
Médio	80,28	76,50	73,86	59,80	28,06	23,61	21,31

Peso Sat: peso da amostra saturada; Peso CC: peso da amostra submetida à $-0,1$ bar; Peso PMP: peso da amostra submetida a tensão de -15 bar; Peso Seco: peso da amostra seca a 105°C ; μ CC: umidade do solo na capacidade de campo; μ PMP: umidade do solo no ponto de murcha permanente; CAD: capacidade de água disponível no solo para a profundidade de 40 cm.

Os valores de DTA variaram de $0,26$ a $0,83 \text{ mm cm}^{-1}$ com média de $0,54 \text{ mm cm}^{-1}$, esses valores coincidem com os encontrados por Prado (2008), em um latossolo com porcentagem de argila entre 36 a 60% , que foi de $0,60 \text{ mm cm}^{-1}$. O resultado da análise granulométrica mostrou que o solo é de textura argilosa, com uma média de $54,4\%$ de argila, $30,5\%$ de silte e $15,1\%$ de areia total.

Os valores mínimo, máximo e médio da CAD, foram respectivamente $10,35$; $33,02$ e $21,31$ mm, sendo assim, este solo tem baixa capacidade de armazenamento de água disponível, por isto recomenda-se que as lâminas a serem aplicadas sejam baixas e a frequência da irrigação alta, para assim melhorar a eficiência de aplicação da irrigação. Geralmente nos trabalhos realizados com balanço hídrico adota-se um valor de CAD em função da textura do solo, não realizando análise específica para a área de estudo.

5.4 Balanço hídrico climatológico

O resultado do balanço hídrico utilizando os valores de precipitação média efetiva com 75% de probabilidade de ocorrência está apresentado na Tabela 12.

Tabela 12. Balanço hídrico climatológico na sub-bacia do Boi Branco utilizando a precipitação efetiva com probabilidade de 75% de ocorrência.

Mes	ETP	Pr	Pr-ETP	NEG.	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
mm									
Jan	111,8	70,9	-41,0	-41,0	3,1	-18,2	89,0	22,8	0,0
Fev	108,6	149,5	40,9	0,0	21,3	18,2	108,6	0,0	22,7
Mar	108,6	65,0	-43,6	-43,6	2,8	-18,5	83,6	25,0	0,0
Abr	91,7	22,8	-68,9	-112,5	0,1	-2,6	25,4	66,3	0,0
Mai	79,9	30,6	-49,2	-161,7	0,0	-0,1	30,7	49,1	0,0
Jun	56,0	31,3	-24,7	-186,4	0,0	0,0	31,3	24,7	0,0
Jul	56,8	61,9	5,1	-30,4	5,1	5,1	56,8	0,0	0,0
Ago	65,0	9,5	-55,6	-86,0	0,4	-4,7	14,2	50,8	0,0
Set	70,8	72,9	2,1	-45,7	2,5	2,1	70,8	0,0	0,0
Out	102,3	103,9	1,6	-35,1	4,1	1,6	102,3	0,0	0,0
Nov	100,2	126,7	26,5	0,0	21,3	17,2	100,2	0,0	9,3
Dez	118,8	143,5	24,8	0,0	21,3	0,0	118,8	0,0	24,8
Tot.	1.070,4	888,4	-181,9			0,0	831,6	238,8	56,8

ETP: evapotranspiração corrigida; Pr: precipitação efetiva média mensal; Pr-ETP: diferença entre precipitação e evapotranspiração; NEG: negativo acumulado; ARM: armazenamento de água no solo; ALT: alteração de água no solo; ETR: evapotranspiração real; DEF: deficiência de água no solo; EXC: Excedente hídrico no solo.

Para uma melhor apresentação da diferença dos principais dados mensais agrometeorológicos ao longo do ano, estes resultados estão apresentados graficamente nas figuras abaixo (2 a 5), onde observa-se graficamente a precipitação e evapotranspiração mensal que ocorre na sub-bacia do Boi Branco, assim como, o excedente e o déficit hídrico.

Figura 2. Precipitação e evapotranspiração mensal (A) e excedente e déficit hídrico (B) na sub-bacia do Boi Branco utilizando a precipitação média mensal.

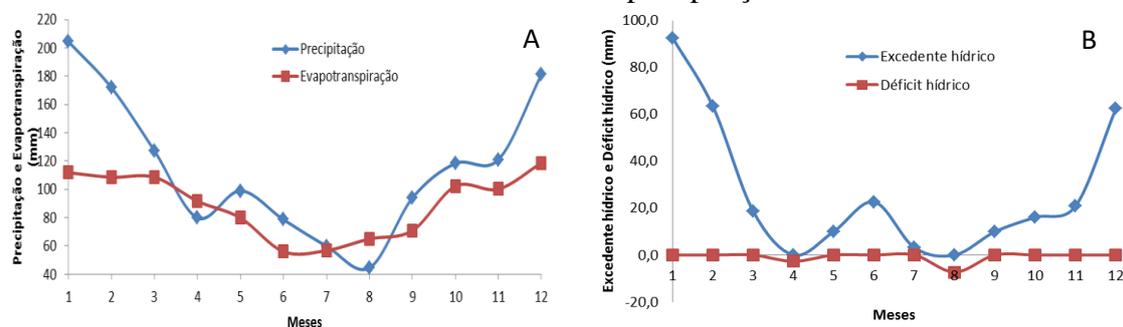


Figura 3. Precipitação e evapotranspiração mensal (A) e excedente e déficit hídrico (B) na sub-bacia do Boi Branco utilizando a precipitação efetiva.

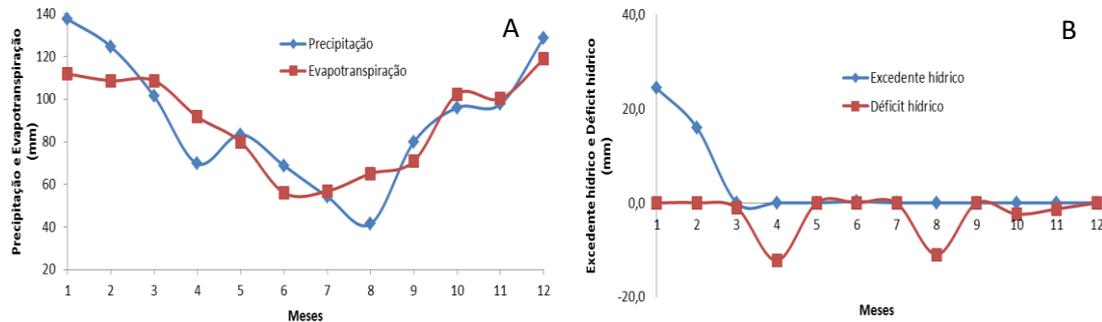


Figura 4. Precipitação e evapotranspiração mensal (A) e excedente e déficit hídrico (B) na sub-bacia do Boi Branco utilizando a precipitação efetiva com probabilidade de 75% de ocorrência.

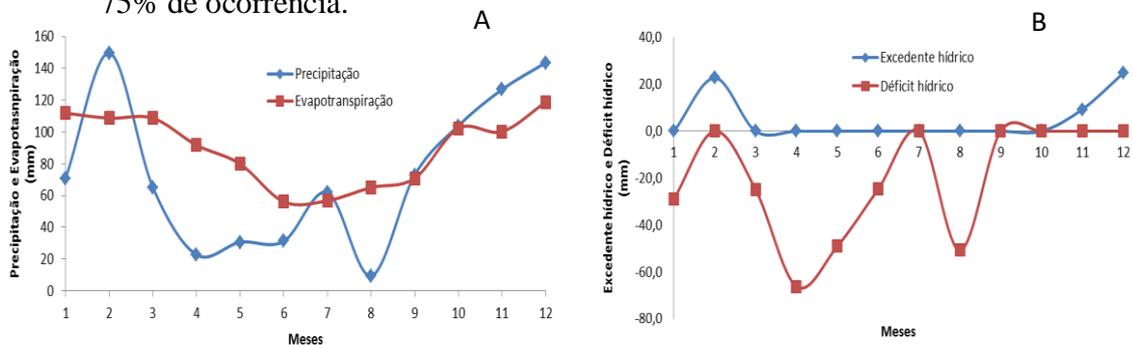
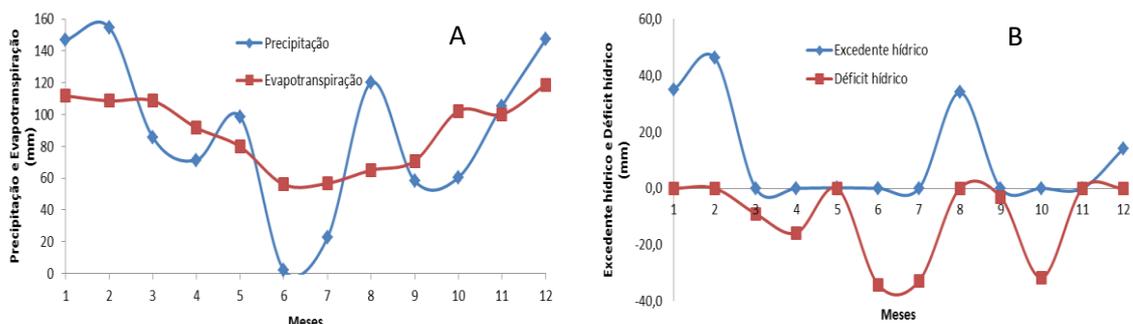


Figura 5. Precipitação e evapotranspiração mensal (A) e excedente e déficit hídrico (B) na sub-bacia do Boi Branco utilizando a precipitação efetiva com probabilidade de 25% de ocorrência.



Os cálculos utilizando a precipitação média mensal permitiram verificar que a sub-bacia do Boi Branco é uma área que possui valor de precipitação média total anual maior que a evapotranspiração total anual, podendo ser um atrativo para a produção agrícola, porém trata-se de uma região com poucos meses com déficit hídrico, pois somente em dois meses foi encontrada essa deficiência de água no solo, os meses foram abril e agosto, sendo que no mês de agosto obteve-se o maior valor de déficit, 7,3 mm, representando 73% do total de deficiência. Mas também se observa que os meses de março, maio, setembro e outubro tiveram um excedente hídrico abaixo de 20 mm, sendo que o mês de julho ficou apenas com

3,2 mm de excedente hídrico, porém esse excedente de água no solo foi elevado, pois totalizou 319,7 mm por ano.

No cálculo utilizando a precipitação média efetiva mensal. Foram encontrados três meses com excedente, sendo que apenas em um o seu valor é superior a 20 mm. Tendo uma deficiência em seis meses (março, abril, julho, agosto, outubro e novembro), totalizando 28,3 mm. E um excedente hídrico total anual de 40,7 mm, sendo que o mês de janeiro é responsável por quase 60% deste valor.

No balanço hídrico utilizando a precipitação efetiva média mensal foram observados seis meses com deficiência hídrica e três meses com excedente hídrico. Os outros três meses, julho, setembro e outubro, não foram contabilizados déficit nem excedente de água no solo. Sendo que o valor de deficiência hídrica no solo foi quatro vezes superior ao excedente hídrico, pois o total anual de deficiência foi de 238,8 mm, enquanto que o excedente foi de 56,8 mm anualmente. Também foi verificado que, diferentemente do observado nos outros balanços hídricos realizados, um dos meses em que houve a deficiência foi no mês de janeiro, isso ocorreu pelo motivo que no ano para a probabilidade de 75% (1975) apresentou valor de apenas 70,9 mm.

Para o balanço hídrico climatológico utilizando a precipitação efetiva de 25% de probabilidade de ocorrência, foram observados seis meses com deficiência hídrica, e cinco meses com excedente hídrico, sendo que em um deles (maio) esse excedente hídrico foi de 0,2 mm. Os valores anuais de deficiência e excedente de água no solo foram semelhantes, pois contabilizou 126,7 e 129,4 mm respectivamente para cada análise.

Por se tratar de uma área com um excedente hídrico elevado, o qual pode ser observado ao longo do ano, evidencia a necessidade de práticas para que esse excesso não afete negativamente a produção das culturas inseridas na sub-bacia. Porém, fica evidente que o excedente hídrico não se distribui igualmente durante o ano, o que torna o uso da irrigação uma ferramenta de extrema importância, uma vez que supre a necessidade hídrica das culturas em situações de déficit, possibilitando boas produtividades sem a necessidade do uso constante de irrigação e aumenta a garantia de uma boa safra com competitividade no mercado pela redução nos custos de produção.

A determinação dos meses com indisponibilidade de água no solo auxilia no manejo das culturas, tanto quanto na irrigação (SANTOS, LIMA E VANZELA, 2013). A deficiência hídrica, afeta o crescimento e o desenvolvimento das plantas, enquanto que o excesso de água no solo causa redução no crescimento e desenvolvimento das raízes (SANTOS, HERNANDEZ E ROSSETI, 2010).

Aplicando as equações 10, 11 e 12 para comprovar a exatidão, observa-se que os valores tiverem uma relação exatamente idêntica.

5.5 Balanço hídrico de cultivo para controle de irrigação

Tabela 13. Déficit hídrico das cinco principais culturas inseridas na sub-bacia do Boi Branco.

Mês	Déficit hídrico da Cultura (mm)				
	Algodão	Batata	Feijão	Milho	Soja
Jan	54,4	-	2,8	3,4	5,6
Fev	43,7	-	20,5	17,1	-
Mar	45,2	4,8	55,3	29,5	-
Abr	33,2	38,6	45,4	69,7	-
Mai	6,4	60,8	4,2	20,5	-
Jun	-	31,3	-	-	-
Jul	-	7,2	-	-	-
Ago	-	-	-	-	-
Set	-	-	-	-	0,5
Out	-	-	-	-	20,5
Nov	0,9	-	-	-	36
Dez	8,4	-	-	-	27,3
Total	192,2	142,7	128,2	140,2	89,9

A cultura do algodão apresentou um déficit total de 192,2 mm, com o menor valor no mês de novembro, 0,9 mm, e maior valor no mês de janeiro, 54,4 mm. A deficiência hídrica no solo pode gerar menor desenvolvimento e ocasionar a queda de flores e frutos, além de encurtamento das fibras (PASSOS et al., 1987 apud BALDO et al. 2009).

A batata apresentou seu menor valor de déficit no mês de março (4,8 mm) e o maior no mês de maio (60,8 mm), totalizando uma deficiência de água no solo de 142,7 mm. Dar e Rosario (1981 apud AGUIR NETTO, RODRIGUES E PINHO, 2000), conduzindo estudos referentes ao estresse hídrico na batata, observaram diminuição na taxa de crescimento da cultura.

O feijão apresentou déficit hídrico total de 128,2 mm, sendo que em março acontece o período mais crítico, pois se observa 43% de todo o déficit da cultura, mostrando que a irrigação é essencial para o desenvolvimento desta cultura.

No caso do milho, apesar de ser semeado na mesma época que o feijão, apresentou um déficit de 12 mm a mais, isso é devido ao coeficiente de cultivo. Seu déficit foi maior no mês de abril com aproximadamente 50% de todo o déficit da cultura e o mês com menor déficit foi o de janeiro com aproximadamente 2,5% de todo o déficit do milho. A cultura da soja foi a que apresentou menor valor de déficit, pois seu total foi de 89,9 mm, sendo que no primeiro mês esse déficit foi apenas de 0,5 mm.

A lâmina de irrigação foi calculada baseada em quando a água no solo chegasse ao limite mínimo de água facilmente disponível para a cultura, elevando-a para o limite máximo. Sendo assim, foi observada uma lâmina de irrigação total no ciclo da batata e do milho de 8,5

mm para cada cultura. Estes resultados são bem inferiores aos aplicados na região, pois os valores aplicados são respectivamente para cada cultura 90,0; 116,2; 197,5; 120,9 e 112,2 mm.

O estudo demonstra a necessidade de um sistema de captação de dados agrometeorológicos para ajudar na estimativa da evapotranspiração, na gestão da irrigação e das outras atividades agrícolas. Assim como também se observa a necessidade de mais pesquisa na área para verificar o comportamento do sistema solo-água-planta-atmosfera.

6 CONCLUSÕES

Os resultados apresentados permitiram concluir que, este solo tem baixa capacidade de armazenamento de água facilmente disponível para as culturas, sendo assim, recomenda-se um manejo da irrigação com lâminas baixas e alta frequência, melhorando a eficiência da irrigação.

Quando se faz uma análise anual, observa-se que o volume precipitado anual é maior que a evapotranspiração anual, exceto quando se avalia com a precipitação efetiva com 75% de probabilidade. O balanço hídrico de cultivo para controle de irrigação apresentou déficit em todas as culturas do estudo e em todos os meses.

7 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, CAPES/PVE/CsF; n. 063/2012, ASPIPP, Fazenda Olhos D'Água, Abel R. Simões Jr., Priscila S. Sleutjes.

8 REFERÊNCIAS

AGUIAR NETTO, A. de O. A.; RODRIGUES, J. D.; PINHO, S. Z. de. Análise de crescimento na cultura da batata submetida a diferentes lâminas de irrigação. **Revista Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.5, p.901-907. 2000.

ASPIPP-FEHIDRO. **Relatório Técnico**. Processo 112.082-085/11. Paranapanema. Volumes 1, 2 e 3. 2011.

BACK, A. J. Variação da evapotranspiração de referência calculada em diferentes intervalos de tempo. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.139-145. 2007.

BALDO, R.; SCALON, S. de P. Q.; ROSA, Y. B. C. J.; MUSSURY, R. M.; BETONI, R.; BARRETO, W dos S. Comportamento do algodoeiro cultivar delta opal sob estresse hídrico com e sem aplicação de bioestimulante. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.spe, p.1804-1812. 2009.

BARBOSA, F. C.; TEIXEIRA, A. dos S.; GONDIM, R. S. Espacialização da evapotranspiração de referência e precipitação efetiva para estimativa das necessidades de irrigação na região do Baixo Jaguaribe-CE. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.36, n.1, p.24-33, 2005.

BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E.M. Precipitação. In: TUCCI, C.E.M.; SILVEIRA, A. L. L. (EDS.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2009. pag.177-241.

CARDOSO, G. G de G. **Manejo da irrigação da alface em ambiente protegido**. 2011. 86 f. Tese (Doutorado em Agronomia Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônomicas – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Botucatu, 2011.

DAEE – Departamento de água e energia elétrica. Banco de dado hidrológico. Botucatu, 2014. Disponível em: <http://www.hidrologia.dae.sp.gov.br>. Acesso em 30 jan 2014.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos** / Centro Nacional de Pesquisa de Solos . – 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FIGUEREDO JÚNIOR, L.G.M.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; BASTOS, E.A. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência na escala decenal Teresina, Piauí. **Anais...** In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. Campinas – SP. 2005.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2ed. São Paulo: Blucher, 1988. 291p.

GONZÁLES, A. P.; ALVES, M. C. Armazenamento de água e densidade do solo sob três condições de superfície, em um cambissol gleico de Lugo, Espanha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.1, p.45-50, 2005.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3.ed. Viçosa: Ed. UFV, 2009. 325p.

MESQUITA, W. O.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. de. Precipitação máximas diárias esperadas para as regiões central e sudeste de Goiás. **Revista de Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia. v.39, n.2, p.73-81, 2009.

MIRANDA, M. J. de; PINTO, H. S.; ZULLO JÚNIOR, J.; FAGUNDES, R. M.; FONSECHI, D. B.; CALVE, L. PELLEGRINO, G. Q. A classificação climática de Koeppen para o estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>> Acesso em: 18 jan. 2014.

OLIVEIRA NETO, S. N. de; REIS, G. G. dos; REIS, M. das G. F. LEITE, H. G.; COSTA, J. M. N. da. Estimativa de temperaturas mínima, média e máxima do território Brasileiro situado entre 16 e 24° latitude Sul e 48 e 60° longitude oeste. **Revista de Engenharia na Agricultura**, Viçosa. v.10, n.1-4. 2002.

PEREIRA, A.R; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Meteorologia Agrícola**. Edição revisada e ampliada, Piracicaba: USP, p. 191, 2007.

PRADO, H. **Pedologia fácil: aplicações na agricultura**. 2. ed. rev. amp. Editora Piracicaba. Piracicaba. 2008.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. Editora Manole LTDA. São Paulo, Brasil. 188 p, 1990.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, Planta e Atmosfera: Conceitos Processos e Aplicações**. São Paulo: Manole, 2004. 478 p.

SAMPAIO, S. C.; CORRÊA, M. M.; VILAS BÔAS, M. A.; OLIVEIRA, L. F. C. Estudo da precipitação efetiva para o município de Lavras, MG. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 210-213. 2000.

SANTOS, G. G.; FIGUEIREDO, C. C. de; OLIVEIRA, L. F. C. de; GRIEBELER, N. P. Intensidade-duração-frequência de chuvas para o estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13 (suplemento), p.899-905, 2009.

SANTOS, G. O.; HERNANDEZ, F. B. T.; ROSSETI, J. C. Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, Noroeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.4, n.3, p. 142-149, 2010.

SANTOS, G. O.; LIMA, F. B. de; VANZELA, L. S. Balanço hídrico espacial das culturas inseridas na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Rita, Noroeste Paulista. **Revista Brasileira de Agricultura irrigada**, Fortaleza, v.7, n.1, p.03-16. 2013.

SARMENTO, A. P.; WANDERLEY, H.; CRUZ, P. P. N. da; PAULA, H. M. de; JUSTINO, E. A. Análise da precipitação na bacia hidrográfica do Rio Forqueta. **Anais... XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Maceió – AL, 2011.

TOMASELLA, J.; ROSSATO, L. **Balanço Hídrico**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Tópicos em Meio Ambiente e Ciências Atmosféricas), 2005.

TUBELIS, A. **Conhecimento prático sobre clima e irrigação**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. 215p.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia: básica e aplicações**. 2. Ed. Viçosa, MG: Ed. UFV. 2012. 460p.