

ANÁLISE DE PRECIPITAÇÃO, BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO E CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA NO MUNICÍPIO DE UNAÍ-MG

DANIEL VIEIRA DA SILVA

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri | Brasil
daniel.vieira.agr@gmail.com

FERNANDO FRANÇA DA CUNHA

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri | Brasil
fernando.cunha@ufvjm.edu.br

MARCELO ROSSI VICENTE

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais | Brasil
mrossivicente@gmail.com

CARLOS AUGUSTO BRASILEIRO DE ALENCAR

Universidade Federal de Viçosa | Brasil
c.brasileiro@yahoo.com.br

IVAN PEREIRA DE SOUZA

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri | Brasil
ivan.agromg@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE:

Agrometeorologia,
chuva, disponibilidade
hídrica,
evapotranspiração.

RESUMO:

Objetivou-se realizar análise de precipitação, balanço hídrico climatológico e classificação climática em Unaí-MG. Utilizaram-se os dados meteorológicos (temperatura do ar e precipitação pluvial) do Instituto Nacional de Meteorologia no período de 1978 a 2013. Foram obtidos os seguintes parâmetros: evapotranspiração de referência; precipitação total e provável; início, final e duração do período chuvoso; período de veranicos; balanço hídrico de Thornthwaite e Mather; e classificação climática de Köppen e Thornthwaite. A evapotranspiração de referência média de Unaí-MG é de 3,74 mm d⁻¹ e a precipitação pluvial de 1.322 mm. Pode-se esperar, com 80% de certeza, que o período chuvoso inicia-se até 21/11 e o final até 21/03. Para CAD de 100 mm, observaram-se deficiências hídricas anuais acumuladas em 383,6 mm, distribuídas entre abril e outubro; e excedente hídrico de 338,5 mm entre novembro e março. O clima de Unaí-MG é Aw e C2wA'a' pelos métodos de Köppen e Thornthwaite, respectivamente.

**RAINFALL ANALYSIS, CLIMATIC WATER BALANCE AND CLIMATIC CLASSIFICATION IN
THE UNAÍ CITY, MINAS GERAIS STATE**

The aimed was to conduct rainfall analysis, climatic water balance and climatic classification in Unaí City, Minas Gerais state. Meteorological data (air temperature and precipitation) of the Instituto Nacional de Meteorologia from 1978 to 2013. The following parameters were obtained were used: the reference evapotranspiration; total and likely rainfall; beginning, end and duration of the rainy season; dry spells period; water balance of Thornthwaite and Mather; and climatic classification of Köppen and Thornthwaite. The average reference evapotranspiration Unaí City is 3.74 mm d⁻¹ and rainfall of 1,322 mm. It can be expected, with 80% certainty, that the rainy season begins until 21/11 and until the end 21/03. To maximum capacity of water available 100 mm, there were annual water deficit accumulated in 383.6 mm, distributed between April and October; and water surplus of 338.5 mm between November and March. The climate of Unaí City is Aw and C2wA'a' by the methods of Köppen and Thornthwaite, respectively.

ABSTRACT:

KEYWORDS:

Agrometeorology,
evapotranspiration,
rain, water availability.

**ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN, BALANCE CLIMATOLÓGICO DEL AGUA Y
CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA EN EL MUNICIPIO DE UNAI-MG**

PALABRAS CLAVE:

Agrometeorología,
precipitación pluvial,
disponibilidad de agua,
evapotranspiración.

RESUMEN:

El objetivo de este estudio fue analizar la precipitación, el balance hídrico climatológico y la clasificación climática en Unaí-MG. Los datos meteorológicos (temperatura del aire y precipitación) del Instituto Nacional de Meteorología se utilizaron desde 1978 hasta 2013. Se obtuvieron los siguientes parámetros: evapotranspiración de referencia; precipitación total y probable; inicio, fin y duración de la temporada de lluvias; periodo de verano; Thornthwaite y Mather balance de agua; y clasificación climática de Köppen y Thornthwaite. La evapotranspiración de referencia promedio de Unaí-MG es de 3.74 mm d⁻¹ y precipitaciones de 1322 mm. Se puede esperar, con un 80% de certeza, que la temporada de lluvias comienza hasta el 21/11 y finaliza hasta el 21/03. Para CAD de 100 mm, se observaron déficits anuales de agua acumulada en 383.6 mm, distribuidos entre abril y octubre; y un excedente de agua de 338,5 mm entre noviembre y marzo. El clima de Unaí-MG es Aw y C2wA'a' por los métodos de Köppen y Thornthwaite, respectivamente.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a disponibilidade hídrica é variável, tanto no tempo quanto no espaço, e diante disso, existe grande preocupação tanto com a escassez quanto com o excesso dos recursos hídricos. Essa problemática existe em várias regiões do País, dentre essas, o Noroeste do Estado de Minas Gerais, especificamente no Município de Unaí-MG, que já apresenta conflito pelo uso da água. Esse problema é agravado por dois motivos: (a) a região apresenta grande área irrigada, principalmente, por sistemas de pivô central; e (b)

a região está inserida em duas cabeceiras de bacias hidrográficas (BH do Rio São Francisco e BH do Rio Paranaíba).

Uma forma para diminuir esses conflitos de uso dos recursos hídricos, é utilizá-lo quando realmente for necessário e de forma eficiente. Além disso, faz-se necessário o conhecimento do ciclo hidrológico dentro de uma bacia hidrográfica, por meio do estudo do comportamento da precipitação pluvial e do balanço hídrico, para estabelecer diretrizes para a implementação de políticas de gestão deste recurso (SANTOS; HERNANDEZ; ROSSETTI, 2010).

Do ponto de vista agrícola, o estudo da precipitação sob a forma pluvial é de grande interesse pelas consequências óbvias que sua falta ou excesso traz à produção vegetal e animal. Apesar de a análise dos dados diários de chuva ser mais trabalhosa do que análise feita com dados agrupados, apresenta vantagens na caracterização de eventos de chuva relacionados, principalmente, com as datas de início e fim de estação chuvosa, distribuição de dias secos nesta estação e distribuição da chuva durante o ano (COSTA, 1994a).

Já o balanço hídrico é um sistema contábil de monitoramento da água do solo (TUCCI, 1997) e resulta da aplicação do princípio de conservação de massa da água por volume de solo vegetado. Segundo Liberato; Brito (2010), o balanço hídrico pode ser realizado tanto na atmosfera como na superfície da Terra, no solo ou, ainda, no sistema Terra-atmosfera.

De acordo com Camargo (1971), para saber se uma região apresenta deficiência ou excesso de água durante um ano, é indispensável comparar dois elementos opostos do balanço hídrico: a precipitação pluvial que fornece água ao solo e a evapotranspiração das culturas que a consome. Segundo Pereira; Angelocci; Sentelhas (2002), a disponibilidade hídrica deve ser quantificada preferencialmente pelo balanço hídrico climatológico, no qual fica evidenciada a flutuação temporal de períodos com excedente e com deficiência. O balanço hídrico de uma região tende a se manter sem grandes alterações naturais, mas com o aumento populacional e o uso indiscriminado dos recursos hídricos, as ações antrópicas podem acabar interferindo no ciclo hidrológico por meio das taxas de precipitação pluvial, de infiltração de água no solo, da evapotranspiração e do escoamento superficial e profundo.

Percebe-se pelo exposto, que o balanço hídrico é uma ferramenta importante que pode ser utilizada em diferentes áreas da ciência, e por diferentes profissionais. Esse conhecimento é indispensável para estudos sobre modelagem dos processos climatológicos e hidrológicos, com a finalidade de estimar necessidades de irrigação por meio da evapotranspiração, previsão de safras, avaliação de disponibilidade de recursos hídricos, zoneamento agroclimático de culturas agrícolas e classificação climática.

A classificação climática objetiva caracterizar em uma grande área ou região, zonas com características climáticas homogêneas. A classificação do clima também pode ser feita para localidades específicas, levando-se em conta tanto as características da paisagem natural (vegetação zonal), baseando-se no fato da vegetação ser um integrador dos estímulos do ambiente, como também os índices climáticos (baseados nas normais climatológicas) (COSTA, 1994c).

O clima é um conjunto de elementos físicos, químicos e biológicos que caracterizam a atmosfera de um local e influenciam os seres que nele se encontram

(PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002). Por isso, segundo Medeiros et al. (2013), é considerado uma das variáveis mais importantes para o ambiente, fazendo-se necessário classificá-lo por meio do estudo dos seus elementos para melhor usufruir dos seus benefícios e controlar seus efeitos.

Em 1900, um climatologista alemão chamado Wladimir Köppen sugeriu a divisão da Terra em 5 zonas de temperatura (COSTA, 1994c). Essa classificação de Köppen (1931) juntamente com a classificação de Thornthwaite (1948) são universalmente as mais utilizadas, sendo a primeira baseada nas características térmicas e na distribuição sazonal da precipitação, e a segunda, fundamentada em dois índices climáticos principais (umidade e eficiência térmica). Ambas são fundamentais para estudos de ecologia, agricultura e recursos hídricos (AYOADE, 2010).

Diversos trabalhos já foram realizados para definição das classificações climáticas no território brasileiro, principalmente a de Köppen (1931), mas em função da grande extensão do País algumas diferenças espaciais foram desconsideradas. Diante disso, é importante que as mesmas sejam aplicadas para regiões geográficas de menor extensão como um Estado ou uma grande bacia hidrográfica (KUINCHTNER; BURIOL, 2001), sobretudo, devido ao fato de que cada classificação tem seus méritos próprios, limitações e falhas (NOBREGA, 2010).

O conhecimento das características climáticas das diferentes regiões do Estado de Minas Gerais, dentre essas de Unaí-MG, se faz necessário, devido ao pouco estudo do assunto e pela necessidade de geração de informações que subsidiem as atividades agropecuárias e antrópicas. Diante do exposto, objetivou-se determinar as características climáticas de Unaí-MG.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados meteorológicos necessários para execução desse trabalho foram retirados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para a estação de superfície convencional número 83428, de Unaí-MG, para o período de 1978 a 2013 (36 anos de série histórica).

Foram utilizados na presente pesquisa os seguintes dados meteorológicos: temperatura do ar e precipitação pluvial. Nas estações convencionais do Inmet, a precipitação pluvial é acumulada no dia e a temperatura do ar é coleta nos horários de 12:00, 18:00 e 24:00 h. Para a obtenção da temperatura do ar média, utilizou-se a Equação 1, conforme recomendação da Organização Meteorológica Mundial (OMM).

$$T = \frac{T_{12h} + 2 T_{24h} + T_{Máx} + T_{Mín}}{5} \quad (1)$$

em que:

T = temperatura média do ar, °C;

T_{12h} = temperatura do ar obtida às 12 horas, °C;

T_{24h} = temperatura do ar obtida às 24 horas, °C;

T_{Máx} = temperatura máxima do ar, °C; e

T_{Mín} = temperatura mínima do ar, °C.

Nas estimativas das temperaturas máxima e mínima do ar foram utilizadas as seguintes expressões conforme recomendação da Organização Meteorológica Mundial (OMM):

$$T_{Máx} = T_{18h} + \frac{(T_{12h} - T_{24h})}{2}, \quad \text{para } T_{12h} - T_{24h} > 1^{\circ}\text{C} \quad (2)$$

$$T_{Máx} = T_{18h} + (T_{12h} - T_{24h}), \quad \text{para } T_{12h} - T_{24h} \leq 1^{\circ}\text{C} \quad (3)$$

$$T_{Mín} = T_{24h} - \frac{T_{18h} - T_{12h}}{2}, \quad \text{para } T_{18h} - T_{12h} < 6^{\circ}\text{C} \quad (4)$$

$$T_{Mín} = T_{24h} - \frac{T_{18h} - T_{12h}}{3}, \quad \text{para } T_{18h} - T_{12h} \geq 6^{\circ}\text{C} \quad (5)$$

em que:

$T_{Máx}$ = temperatura máxima do ar, °C;

T_{18h} = temperatura do ar obtida às 18 horas, °C;

T_{12h} = temperatura do ar obtida às 12 horas, °C;

T_{24h} = temperatura do ar obtida às 24 horas, °C; e

$T_{Mín}$ = temperatura mínima do ar, °C.

Após obtenção dos dados diários de precipitação pluvial e temperatura do ar, foram realizadas verificações e posteriormente eliminações daquelas informações consideradas discrepantes ou inconsistentes visando obter agrupamentos de dados mais representativos. O propósito desse procedimento foi tornar os dados meteorológicos mais homogêneos.

Para realização do balanço hídrico climatológico e classificação climática, os dados diários foram convertidos para dados mensais, para em seguida serem agrupados em média mensais, os quais resultaram em dados de uma série histórica de 36 anos, superando o período de 30 anos como sugerido por Costa (1994b).

A evapotranspiração de referência (ET_o) foi obtida pelo conjunto das equações seguintes, de acordo com Thornthwaite (1948).

$$ET_o = EP_i \text{ Corr}_i \quad (6)$$

$$EP_i = 16 \left(10 \frac{t_i}{I} \right)^a \quad (7)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{t_i}{5} \right)^{1,514} \quad (8)$$

$$a = 0,49239 + 1,792 \cdot 10^{-2} I - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 \quad (9)$$

$$\text{Corr}_i = \frac{\sum_{j=1}^{ndm} N_j}{12 \cdot 30} \quad (10)$$

em que:

ET_o = evapotranspiração potencial de referência método Thornthwaite e Mather, mm mês⁻¹;

EP_i = evapotranspiração potencial método Thornthwaite e Mather, mm mês⁻¹;

$Corr_i$ = fator de correção para evapotranspiração método Thornthwaite e Mather, adm;

t_i = temperatura média mensal do ar, °C;

I = índice térmico anual, adm; e

a = constante que depende do local, adm.

Para se determinar a precipitação provável, utilizou-se o método de probabilidade log-normal. Neste método, os dados de precipitações mensais dos 36 anos foram colocados em ordem decrescente de valor e numerados a partir do maior valor. Em seguida, calculou-se posição de cada dado no gráfico pela seguinte equação:

$$Fa = \frac{100 m}{N + 1} \quad (11)$$

em que:

Fa = posição de cada dado no gráfico;

m = número de ordem de cada dado; e

N = número total de dados analisados.

Plotaram-se as precipitações por período *versus* os valores de Fa por período. Em seguida, foi ajustada uma equação de regressão logarítmica. Para determinar a precipitação provável mensal com dada probabilidade de ocorrência, utilizou-se a equação de regressão ajustada para cada mês do ano. Para calcular a precipitação provável, durante todo o ano, procedeu-se o cálculo para cada mês e somaram-se os resultados mensais.

Para analisar outros parâmetros do comportamento da precipitação pluvial de Unaí-MG, utilizou-se o método de regressão linear, bastando apenas definir o critério a obedecer. Sendo assim, seguem os critérios para cada característica avaliada seguindo recomendações de Costa (1994a):

- Início das chuvas: para definição dessa característica, utilizou o critério da primeira data após 1° de setembro com mais de 20 mm dentro de um ou dois dias, apresentando nos próximos 30 dias, pelo menos um dia de chuva em cada período de 10 dias.
- Final das chuvas: foi o primeiro dia de um período seco com pelo menos 15 dias de duração que terminou após 1° de março.
- Duração do período chuvoso: obtido subtraindo o dia juliano do início das chuvas do dia juliano do próximo fim das chuvas e somando com 366. O resultado calculado foi a duração da estação chuvosa, em dias.
- Período de veranicos: somando o número de dias sem chuvas durante cada mês da estação chuvosa.

Para o balanço hídrico, foi utilizada a metodologia de Thornthwaite; Mather (1955), como descrita por Pereira; Angelocci; Sentelhas (2002). Para isso foram utilizados os valores mensais de temperatura do ar (t em °C) e precipitação pluvial (P em mm). Com esses dados, foi possível determinar os seguintes parâmetros: evapotranspiração potencial para um mês de 30 dias (EP em mm), correção da evapotranspiração de acordo com a latitude do local e mês ($Corr.$ é adimensional), evapotranspiração potencial (ETP em mm), negativo acumulado ($Neg.Ac.$ em mm), armazenamento de água no solo (ARM em mm), alteração no armazenamento (ALT em mm), evapotranspiração real (ETR em mm), deficiência hídrica (DEF em mm) e excedente hídrico (EXC em mm).

As análises de balanço hídrico foram realizadas para as seguintes capacidades máximas de água disponível (CAD): 20, 40, 60, 80, 100, 120, 150, 200, 250 e 300 mm. Esses diferentes valores de CAD representam a “caixa d’água” da maioria das culturas agrícolas utilizadas na região de estudo, como observado na Tabela 1.

Tabela 1. Enquadramento das culturas agrícolas conforme a capacidade de água disponível.

CAD (mm)	20	40	60	80	100	120	150	200	250	300
	---- Hortaliças --									
	----- Anuais* ---									
Culturas	----- Perenes** -----									
	----- Fruticultura -----									
	----- Silvicultura -----									

*Milho, soja, feijão, etc.; **Café, cana-de-açúcar, etc. Fonte: Filgueiras et al. (2018).

Para a realização da classificação climática para o município de Unaí-MG, foram utilizadas as metodologias de Köppen (1931) e Thornthwaite (1948), como descritas por Costa (1994c), Pereira; Angelocci; Sentelhas (2002) e Vianello; Alves (2006). Utilizou-se o valor de capacidade máxima de água disponível de 100 mm.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A evapotranspiração de referência (ET_o) média variou entre 2,52 mm d^{-1} (Julho) e 4,53 mm d^{-1} (Outubro), registrando valor médio anual de 3,74 mm d^{-1} . Esse valor é superior a média anual de Minas Gerais, que foi de 3,33 mm d^{-1} de acordo com resultados de Ximenes et al. (2015). Esses autores utilizaram a metodologia de Penman-Monteith para estimar a ET_o e encontraram também valores médios, máximos e mínimos, para Paracatu-MG (município vizinho de Unaí-MG), de 3,42 mm d^{-1} , 3,97 mm d^{-1} (Setembro) e 2,80 mm d^{-1} (Junho), respectivamente.

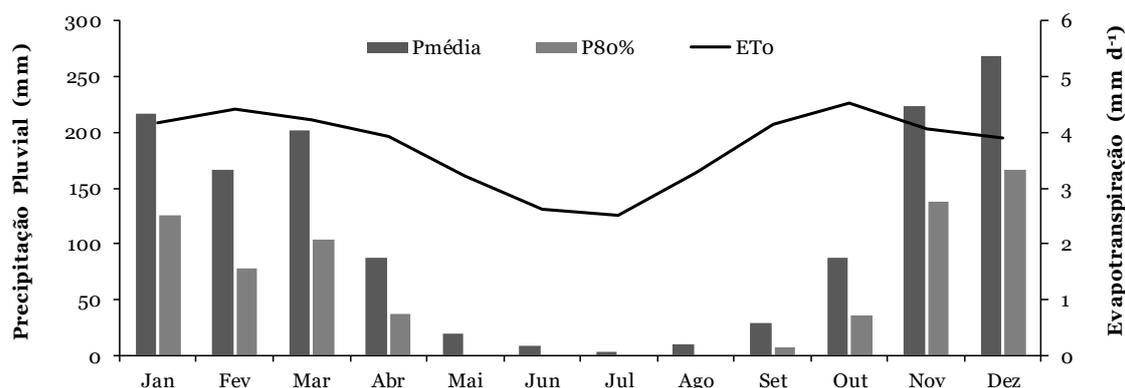


Figura 1. Valores médios de evapotranspiração de referência (ETo) e de precipitação pluviométrica mensal média (Pmédia) e provável com 80% de probabilidade (P80%) para Unai-MG (1978 a 2013).

Verifica-se também na Figura 1 que a precipitação pluviométrica média em Unai-MG variou entre 3 mm (Julho) e 268 mm (Dezembro). Pode-se afirmar que Unai possui períodos bem definidos de seca (entre Maio e Setembro) e chuva (entre Outubro e Abril). A precipitação pluviométrica média anual de Unai foi de 1.322 mm, sendo superior aos municípios vizinhos Arinos (1.275 mm), Paracatu (1.314 mm) João Pinheiro (1.304 mm) de acordo com as normais climatológicas 1961-1990 (INMET, 2010).

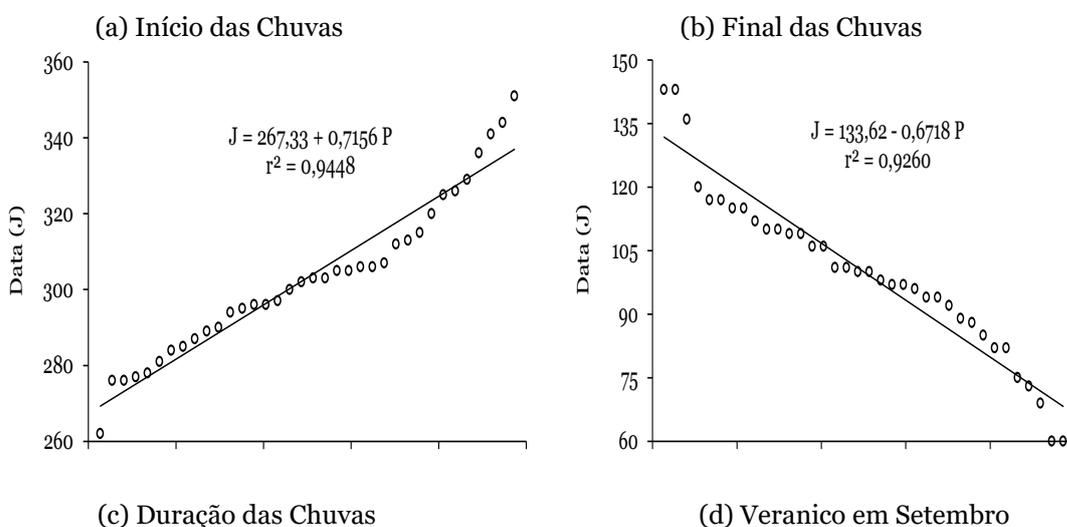
A precipitação pluviométrica provável com 80% de probabilidade acompanhou a tendência da precipitação média (Figura 1) e apresentou valor acumulado anual de 691 mm. Segundo Bernardo; Soares; Mantovani (2006), em irrigação trabalha-se com a probabilidade de 80%, ou seja, com a lâmina mínima de chuva que se pode esperar em quatro a cada cinco anos. Não se pode trabalhar com a precipitação média em irrigação, porque quanto menor for o período em que os dados forem agrupados, maior será a variabilidade entre eles. Na Tabela 2 estão apresentadas as equações de regressão da precipitação provável para todos os meses do ano para o município de Unai-MG.

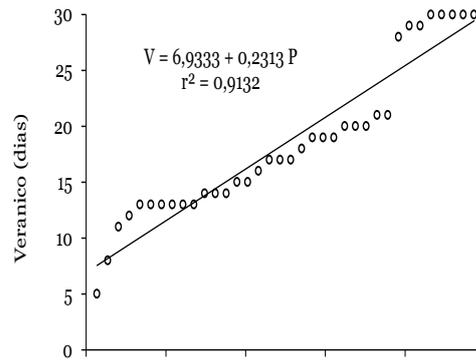
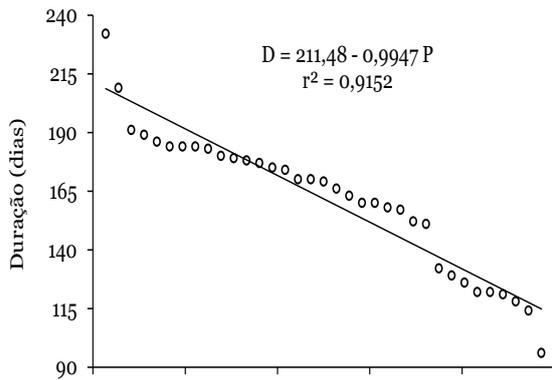
Tabela 2. Equações de regressão da precipitação provável (PP) em função da probabilidade de ocorrência (P) para todos os meses do ano utilizando dados médios climáticos de Unai-MG (1978 a 2013).

Mês	Equação	R ²
Jan	PP = -136,3523 Ln(P) + 722,5276	0,9599
Fev	PP = -121,2632 Ln(P) + 609,3454	0,9571
Mar	PP = -144,6526 Ln(P) + 737,4514	0,9463
Abr	PP = -69,3901 Ln(P) + 341,3418	0,9065
Mai	PP = -30,7123 Ln(P) + 130,4594	0,9743
Jun	PP = -28,3378 Ln(P) + 100,9470	0,8160
Jul	PP = -16,8582 Ln(P) + 53,7613	0,8471

Ago	$PP = -21,9136 \text{ Ln}(P) + 87,4822$	0,9771
Set	$PP = -31,5921 \text{ Ln}(P) + 145,5512$	0,9905
Out	$PP = -72,7597 \text{ Ln}(P) + 354,7015$	0,9419
Nov	$PP = -123,1316 \text{ Ln}(P) + 677,4448$	0,9114
Dez	$PP = -141,0630 \text{ Ln}(P) + 783,6932$	0,8985

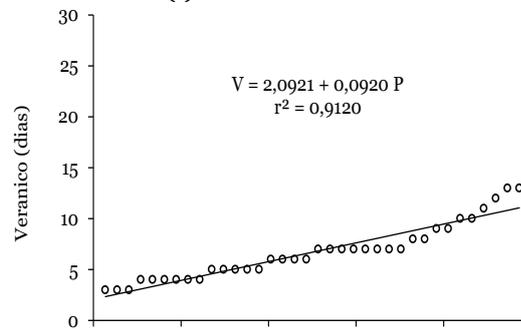
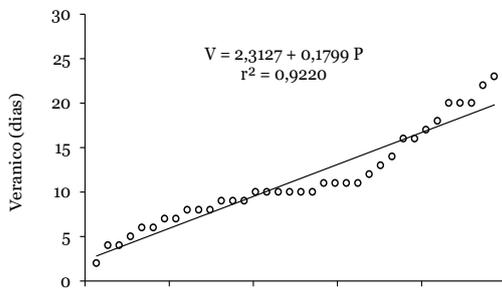
Pode-se esperar, com 80% de certeza, que a época chuvosa em Unaí-MG inicia-se até 21/11 (Figura 2a). Conforme os dados históricos de 36 anos (1978 a 2013) e de acordo com a equação de regressão, o início mais precoce aconteceu em 19/09 (ano 1981) e o mais tardio em 17/12 (ano 2001). Com 80% de certeza, pode-se esperar que final do período chuvoso em Unaí-MG finaliza até o dia 21/03 (Figura 2b). No período analisado, o final do período chuvoso aconteceu mais precocemente no dia 01/03 (2007) e tardiamente no dia 23/05 (1995). Com as informações das Figuras 1a e 1b analisou-se o período chuvoso de Unaí-MG, o qual podemos concluir com 80% de certeza que é maior que 132 dias (Figura 1c). De acordo com os 36 anos de dados (1978 a 2013), o maior período chuvoso em Unaí-MG foi de 232 dias que ocorreu entre 03/10/1996 a 23/05/1997. Já o menor período chuvoso foi de 96 dias ocorrendo entre 25/11/2006 a 01/03/2007.





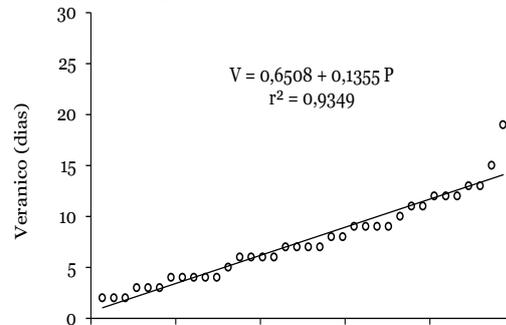
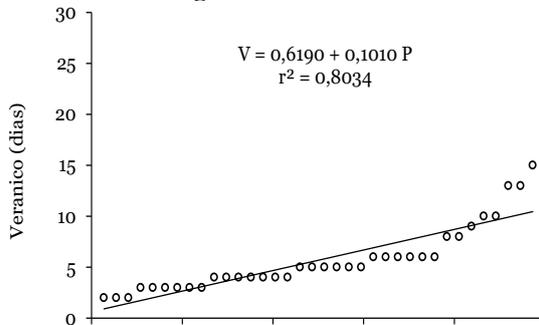
(e) Veranico em Outubro

(f) Veranico em Novembro



(g) Veranico em Dezembro

(h) Veranico em Janeiro



(i) Veranico em Fevereiro

(j) Veranico em Março

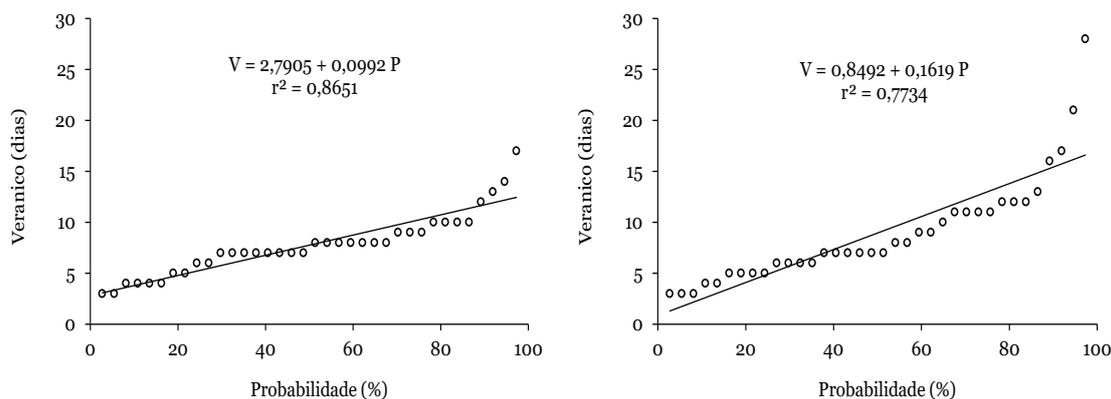


Figura 2. Análise de dados de precipitação: (a) início e (b) final das chuvas em dias juliano (J); (c) duração do período chuvoso em dias; e duração dos veranicos nos meses de (d) setembro, (e) outubro, (f) novembro, (g) dezembro, (h) janeiro, (i) fevereiro e (j) março utilizando dados médios climáticos de Unaí-MG (1978 a 2013).

Com 80% de certeza, pode-se afirmar que os veranicos em Unaí-MG nos meses de setembro (Figura 2d), outubro (Figura 2e), novembro (Figura 2f), dezembro (Figura 2g), janeiro (Figura 2h), fevereiro (Figura 2i) e março (Figura 2j) apresentam durações máximas de até 25, 17, 9, 9, 11, 11 e 14 dias, respectivamente. Segundo Costa (1994a), períodos de veranicos no meio da estação de crescimento de uma cultura pode ser problemático, pois, conforme a época do ciclo da cultura em que ele ocorre, pode levar a quedas de produtividade e qualidade do produto agrícola. De maneira geral, o período do ciclo mais sensível é o período de produção, que compreende as fases de floração, formação e enchimento de grãos.

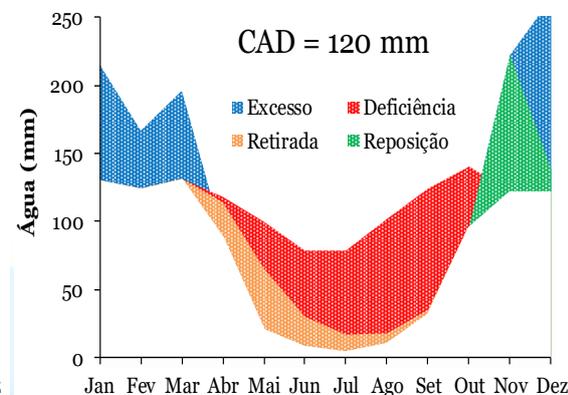
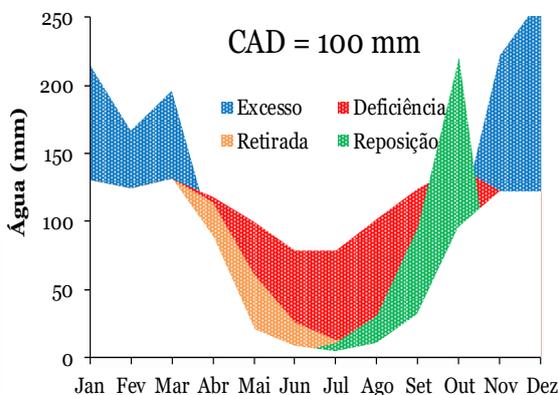
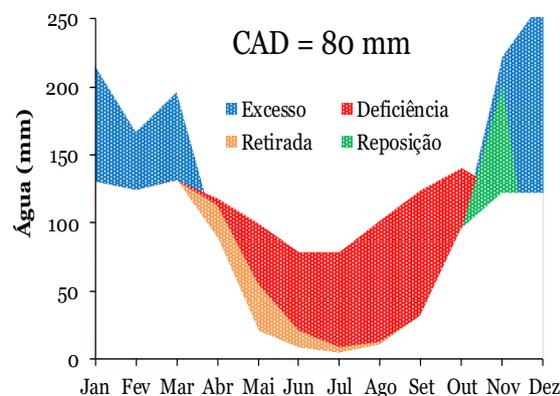
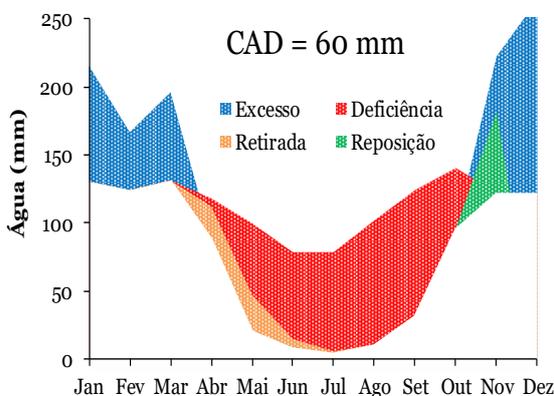
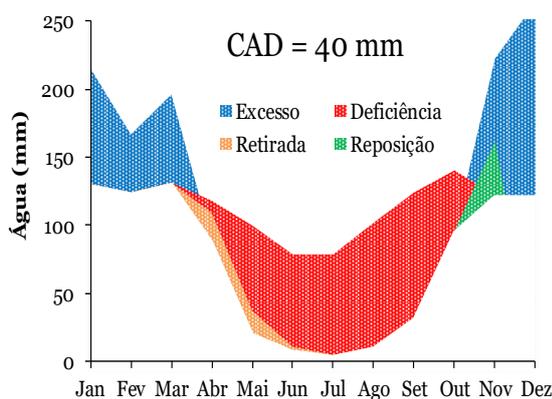
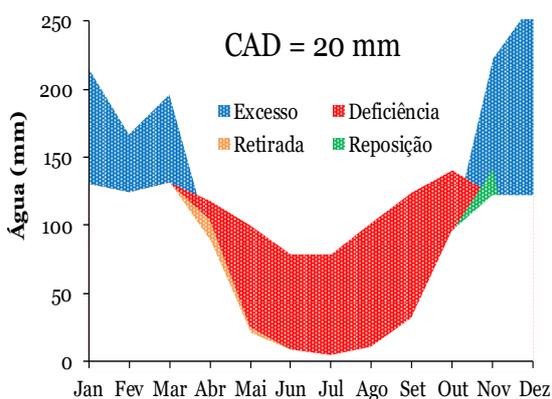
Verifica-se na Tabela 3 o Balanço Hídrico Climatológico (BHC) utilizando a capacidade máxima de água disponível de 100 mm. Caso opte pelo cultivo em sequeiro de culturas perenes ou frutíferas que apresentem CAD aproximadamente a 100 mm em Unaí-MG, o produtor pode esperar deficiências hídricas anuais acumuladas em 383,6 mm, distribuídas entre abril e outubro; e excedente hídrico anual de 338,5 mm concentrados entre novembro e março. Segundo Pereira; Angelocci; Sentelhas (2002), o BHC além de servir para conhecimento da disponibilidade hídrica regional, também auxilia na caracterização de secas, zoneamento agroclimático e determinação das melhores épocas de semeadura. Os demais BHC, considerando outros valores de CAD, estão apresentados na Figura 3.

Tabela 3. Balanço Hídrico Climatológico segundo Thornthwaite; Mather (1955) utilizando dados médios climáticos de Unaí-MG (1978 a 2013) considerando a capacidade máxima de água disponível de 100 mm.

Mês	t	Corr.	EP	ETP	P	P-ETP	Neg.Ac.	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
	--°C--	---q--	-----mm-----									
Jan	25,26	1,12	115,86	129,76	215,30	85,54	0,00	100,00	0,00	129,76	0,00	85,54
Fev	25,78	1,00	123,85	123,85	166,61	42,76	0,00	100,00	0,00	123,85	0,00	42,76
Mar	25,60	1,08	120,97	130,65	196,12	65,47	0,00	100,00	0,00	130,65	0,00	65,47
Abr	25,29	1,01	116,30	117,47	88,39	-29,07	-29,07	74,77	-25,23	113,62	3,84	0,00
Mai	24,09	1,00	99,45	99,45	19,82	-79,63	-108,70	33,72	-41,05	60,87	38,58	0,00

Jun	22,82	0,94	83,50	78,49	8,18	-70,31	-179,01	16,69	-17,03	25,20	53,28	0,00
Jul	22,71	0,95	82,23	78,12	3,59	-74,53	-253,55	7,92	-8,77	12,36	65,76	0,00
Ago	24,57	0,96	106,05	101,80	10,18	-91,63	-345,17	3,17	-4,75	14,93	86,87	0,00
Set	26,21	0,95	130,60	124,07	31,15	-92,93	-438,10	1,25	-1,92	33,06	91,01	0,00
Out	26,63	1,02	137,53	140,28	95,62	-44,66	-482,76	0,80	-0,45	96,07	44,21	0,00
Nov	25,40	1,03	118,03	121,57	222,68	101,10	0,00	100,00	99,20	121,57	0,00	1,90
Dez	24,85	1,10	110,01	121,01	263,88	142,87	0,00	100,00	0,00	121,01	0,00	142,87

t = temperatura média do ar mensal; Corr. = correção de acordo com a latitude do local e mês; EP = evapotranspiração potencial para um mês de 30 dias; ETP = evapotranspiração potencial; P = precipitação pluviométrica mensal; Neg.Ac. = negativo acumulado; ARM = armazenamento de água no solo; ALT = alteração no armazenamento; ETR = evapotranspiração real; DEF = deficiência hídrica; EXC = excedente hídrico.



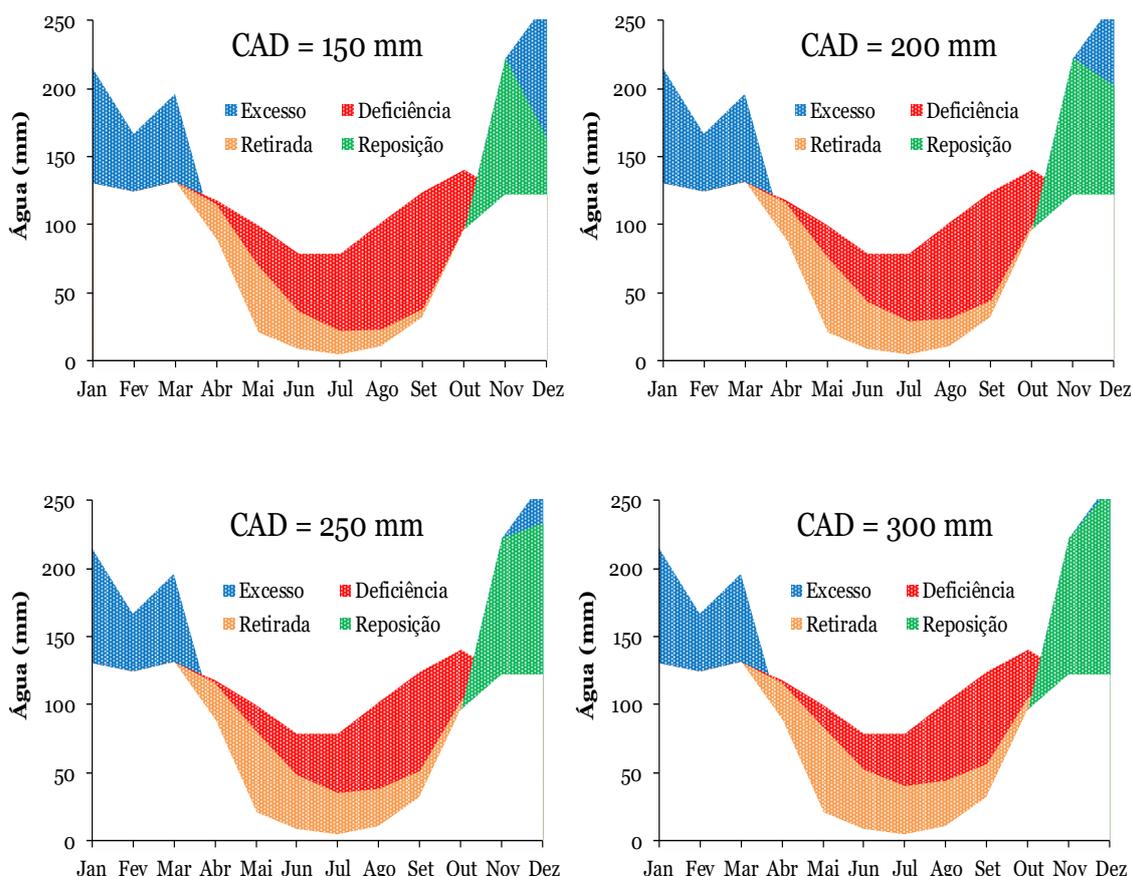


Figura 3. Balanço Hídrico climatológico para diferentes valores de capacidade de água disponível (CAD) utilizando dados médios climáticos de Unaí-MG (1978 a 2013).

Considerando valores de CAD entre 20 e 80 mm, observaram-se deficiências hídricas distribuídas entre abril e outubro e excedentes hídricos anuais concentrados entre novembro e março. As deficiências hídricas anuais acumuladas para as CAD de 20, 40, 60 e 80 mm foram de 462,8; 442,8; 422,8 e 402,9 mm, respectivamente. Os excedentes hídricos anuais acumulados para as CAD de 20, 40, 60 e 80 mm foram de 417,7 mm; 397,7 mm; 377,8 mm e 357,9 mm, respectivamente.

Considerando valores de CAD entre 120 e 300 mm, observaram-se deficiências hídricas distribuídas entre abril e outubro e excedentes hídricos anuais concentrados entre dezembro e março. As deficiências hídricas anuais acumuladas para as CAD de 120, 150, 200, 250 e 300 mm foram de 364,9 mm; 338,8 mm; 300,7 mm; 269,0 mm e 242,8 mm, respectivamente. Os excedentes hídricos anuais acumulados para as CAD de 120, 150, 200, 250 e 300 mm foram de 319,9 mm; 293,7 mm; 255,6 mm; 224,0 mm e 197,8 mm, respectivamente. Pode-se afirmar que culturas que aprofundam seus sistemas radiculares como as espécies florestais, e por consequência venha apresentar valores de CAD superiores a 250 mm, não necessitarão de irrigação quando a cultura estiver na fase adulta.

Pelo método de Köppen o clima de Unaí-MG foi classificado como Aw i, ou seja, o grupo fundamental foi “A” tropical úmido; tipo fundamental “Aw” tropical úmido de savana; e variedade “i” isotérmico.

Os índices de umidade, aridez, hídrico e TE de Unaí-MG apresentaram valores de 24,8; 28,1; 7,9 e 27,2%, respectivamente. A classe de disponibilidade hídrica foi “B” e a classificação, segundo Thornthwaite (1948), foi do Tipo C2 w (Subúmido com déficit de água moderado no inverno) com sufixo A'a' (Megatérmico).

CONCLUSÃO

A evapotranspiração de referência média anual de Unaí é de $3,74 \pm 0,68$ mm d⁻¹ e a precipitação pluvial de 1.322 ± 296 mm.

Pode-se esperar, com 80% de certeza, que as chuvas em Unaí-MG iniciam-se até 21/11 e o final do período chuvoso finaliza até o dia 21/03.

Para capacidade máxima de água disponível de 100 mm, observaram-se deficiências hídricas anuais acumuladas em 383,6 mm, distribuídas entre abril e outubro; e excedente hídrico de 338,5 mm entre novembro e março. Somente as culturas agrícolas que aprofundam seus sistemas radiculares como as espécies florestais, e por consequência venham apresentar valores de CAD superiores a 250 mm, não necessitarão de irrigação quando a cultura estiver na fase adulta.

Pelo método de Köppen o clima de Unaí-MG foi classificado como Aw i (Tropical chuvoso de savana, isotérmico) e segundo Thornthwaite é do Tipo C2 w (Subúmido com déficit de água moderado no inverno) com sufixo A'a' (Megatérmico).

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de iniciação científica a primeira autoria, e a servidora do ICA Katia Vieira Souto Lepesqueur Landim pelo apoio na tabulação dos dados.

REFERÊNCIAS

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 332p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 625p.

CAMARGO, A. P. **Balanco hídrico no Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1971. 24p. Boletim Técnico, 116.

COSTA, M. H. **Análise de dados de precipitação**. Viçosa: AEAMG, 1994a. 21p. Caderno Didático 11.

COSTA, M. H. **Balanco hídrico segundo Thornthwaite e Mather, 1955**. Viçosa: AEAMG, 1994b. 22p. Caderno Didático 19.

COSTA, M. H. **Classificação climática**. Viçosa: AEAMG, 1994c. 12p. Caderno Didático 18.

FILGUEIRAS, R.; OLIVEIRA, V. M. R.; CUNHA, F. F.; MANTOVANI, E. C. Variabilidade temporal de parâmetros do balanço hídrico no manejo de culturas agrícolas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 38, n. 5, p. 841-850, 2018.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas (1961-1999), Versão Revista e Ampliada**. Brasília: Inmet, 2010. CD-ROM.
KÖPPEN, W. **Grundriss der Klimakunde: Outline of climate science**. Berlin: Walter de Gruyter, 1931. 388p.

KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. A. Clima do estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 171-182, 2001.

LIBERATO, A. M.; BRITO, J. I. B. Influência de mudanças climáticas no balanço hídrico da Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 3, n. 3, p. 170-180, 2010.

MEDEIROS, R. M.; SANTOS, D. C.; SOUSA, F. A. S.; GOMES FILHO, M. F. Análise climatológica, classificação climática e variabilidade do balanço hídrico climatológico na Bacia do Rio Uruçui Preto, PI. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 6, n. 4, p. 652-664, 2013.

NOBREGA, R. S. Um pensamento crítico sobre classificações climáticas de Köppen até Strahler. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 3, n. 1, p. 18-22, 2010.
PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

SANTOS, G. O.; HERNANDEZ, F. B. T.; ROSSETTI, 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.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, v. 38, n. 1, p. 55-94. 1948.
THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water balance. **Publications in Climatology**, Centerton, v. 10, n. 3, p. 183-311, 1957.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997. 943p.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Editora UFV, 2006. 449p.

XIMENES, A. R.; SANCHES, F. M.; CASTRO, M. A.; CORADI, P. C.; CUNHA, F. F. Utilizing sevap software to estimate the reference evapotranspiration on the Minas Gerais State. **Nucleus**, Ituverava, v. 12, n. 1, p. 159-172, 2015.

Recebido em: 29/08/2016

Aprovado para publicação em: 26/06/2017