

BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO: ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DE GOVERNADOR VALADARES-MG

Denise Aparecida Antunes - Aluna do 5º período do Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental
IFMG, campus Governador Valadares. daa21@hotmail.com

Dsc. Fulvio Cupolillo. Professor do Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental IFMG, campus
Governador Valadares

RESUMO: O presente trabalho teve como objetivo elaborar um estudo de caso do balanço hídrico climatológico referente ao período de 2011/2012 e compará-lo com os períodos de 1961-1990, 1990-2002 na cidade de Governador Valadares-MG. Para realização dos cálculos do balanço hídrico decendial foi utilizado o programa computacional Excel™ ROLIM (1998). Os dados de precipitações e temperaturas decendiais foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, e o balanço hídrico foi determinado a partir do método de Thorthwaite & Mather (1955). A comparação dos balanços hídricos climatológicos constatou que os dados dispostos nos gráficos, não detectaram a presença de veranico no mês de março para nenhum período. E o excedente hídrico do último gráfico analisado se tornou mais curto, porém com maior intensidade.

PALAVRAS CHAVES: balanço hídrico, precipitação, evapotranspiração, decêndio.

SUMMARY: The aim of this paper is to elaborate a case study regarding the climatologic hydrobalance referring to the period of 2011/2012 and compare it with prior periods of 1961 1990, 1990-2002 in the city of Governador Valadares - MG. To calculate the downgrading hydrobalance a computer program Excel™ ROLIM (1998) was utilized. The rainfall data and downgrading temperatures were obtained from the National Institute Of Meteorology -INMET and the hydrobalance was determined making use of the Thorthwaite & Mather (1955) method. The comparison of the climatological hydrobalances understood that the data shown in the graphs did not detect the presence of the veranico in the month of march in any period. The hydro excess of the last analized graph became shorter, with greater intensity, though.

KEY-WORDS: hydrobalance, precipitation, evapotranspiration, ten day period.

INTRODUÇÃO

O homem, ao longo dos séculos, vem procurando desenvolver técnicas para melhorar sua condição de vida no planeta. No entanto, fatores e elementos climáticos interferem no convívio do mesmo. Uma barreira é o clima de uma região que pode limitar a permanência dos seres humanos em um determinado local, pois, segundo Ayoade (2001) o clima é um fator, que afeta a agricultura e determina a adequação de suprimentos essenciais à sobrevivência humana de duas maneiras: através de azares climáticos, e do controle que o clima exerce sobre os estágios da cadeia de produção agrícola.

Conhecer as condições climáticas de uma região é necessário para que se possam desenvolver técnicas agrícolas que buscam a sustentabilidade e métodos que integram práticas agropecuárias e o meio ambiente.

Dentre os elementos climáticos que interferem no desenvolvimento da vegetação de uma área está a radiação solar que determina as condições térmicas do ambiente, a temperatura que afeta o crescimento de culturas agrícolas, e a precipitação que é um importante “processo pelo qual a água condensa na atmosfera e atinge gravitacionalmente a superfície terrestre” (TUBELIS, 1986, p.198).

Para medir a quantidade de chuvas que infiltra numa camada de solo, utiliza-se o pluviômetro e o pluviógrafo. As chuvas possuem importante papel para o crescimento vegetal, pois ela é o principal constituinte da fisiologia vegetal e um reagente da fotossíntese. Associado a precipitação está a evaporação, no qual “é o processo físico pelo qual um líquido passa para o estado gasoso” (PEREIRA, 2002, p.213).

Nas comunidades vegetais a evaporação está ligada à transpiração, esse processo que integra os dois fatores recebe o nome de evapotranspiração, no qual é um método simultâneo de evaporação de água do solo para a atmosfera e a transpiração feita pelas plantas. A precipitação e a evapotranspiração que resultam, respectivamente, na entrada e saída de água do solo podem ser analisadas através de métodos científicos no qual se calcula a disponibilidade hídrica para as comunidades vegetais, que recebe o nome de balanço hídrico.

Tubelis (1986) define a evapotranspiração como a perda de água, para a atmosfera na forma de vapor de uma vegetação. A evapotranspiração é um parâmetro importante na ecologia vegetal e no planejamento agrícola, pois a evapotranspiração juntamente com a precipitação permite determinar a disponibilidade hídrica de uma

região. A evapotranspiração denomina-se como um processo conjugado da transpiração vegetal e da evaporação que a vegetação apresenta.

A transpiração vegetal ocorre através dos estômatos e das cutículas das plantas, utilizando água absorvida pelo seu sistema radicular do solo, sendo um processo biológico. A evaporação é a perda da água depositada na superfície vegetal e da água contida no solo, sendo assim um processo físico.

Por ser a evapotranspiração um conjugado, a sua intensidade dependerá da atuação isolada de cada fenômeno. Assim é preciso estabelecer condições padrões para que se possa estudar as diferentes formas de evapotranspiração. Definindo-a da seguinte forma :

- Evapotranspiração Potencial (ETP): É a máxima perda de água, na forma de vapor para a atmosfera, que ocorre em uma vegetação que cobre totalmente uma superfície horizontal de solo e é exposta às condições atmosféricas, sem ocorrer restrição de água no solo. ETP é tomada como elemento meteorológico de referência para estudos comparativos de perda de água pela vegetação em diferentes locais.

- Evapotranspiração Real (ETR): diferencia da potencial, pois há uma determinada condição de restrição de água no solo. Em condições naturais e de cultivo, a evapotranspiração potencial é menor, que a evapotranspiração real devido a não cobertura completa do solo, ao estágio de desenvolvimento das plantas, aos seus mecanismos de controle de transpiração.

Para se medir a evapotranspiração usa-se o evapotranspirômetro. No Brasil um dos métodos mais utilizado por ser de fácil cálculo, segundo Tubelis (1986) é o de Thornthwaite-Mather. Trata-se de recipientes enterrados e cheios com o mesmo solo de uma escavação cobertos por vegetação. A superfície gramada do evapotranspirômetro deve estar do mesmo nível do gramado do posto meteorológico. A medida da evapotranspiração potencial é feita através do total de água, que é usado pela planta em um dia, determinado pela diferença entre a quantidade de água colocada e percolada:

$$ETP= P+I-C. \quad (01)$$

Sendo:

ETP: evapotranspiração potencial (mm/dia).

P: precipitação (mm/dia).

I: Irrigação (mm/dia).

C: água percolada (mm/dia).

Para estimar a evapotranspiração potencial usam-se métodos analíticos, no qual envolvem relações empíricas e através de medidas de evapotranspiração. O método mais utilizado é o de Penman (*apud* Tubelis 1986), que envolvem o cálculo do balanço de radiação e do transporte vertical turbulento do vapor de água. Nos métodos que envolvem relações empíricas está o método de Thornthwaite-Camargo (*apud* Tubelis 1986), que permite a determinação da evapotranspiração potencial mensal a partir da temperatura média mensal e da temperatura média anual do ar, através da expressão:

$$ETP = p \cdot ETN \quad (02)$$

Sendo:

ETP: evapotranspiração potencial mensal (mm).

p: fator de ajustamento da evapotranspiração potencial determinada pelo nomograma.

ETN: evapotranspiração potencial mensal determinada pelo nomograma (mm).

Para determinar a evapotranspiração potencial têm-se uma tabela no qual, marca-se a temperatura média anual, que esta na escala vertical esquerda, em seguida une este ponto com o ponto °C através de uma reta. Esta reta expressa a relação entre a evapotranspiração potencial mensal do nomograma e a temperatura média mensal. Ao inserir a temperatura média mensal na escala da direita do nomograma determina-se, através da regra da regressão a evapotranspiração potencial mensal do nomograma da escala superior.

Segundo Mota (1983), a evapotranspiração é a transferência de água no solo para a atmosfera. A evaporação é a perda de água ocorrida diretamente da superfície do solo. A transpiração é a perda de água das plantas. Os processos são fisicamente idênticos, pois envolve uma troca de fase da água nos dois, da fase líquida para a fase gasosa.

Então a evapotranspiração define-se como o resultado total da perda da água para a atmosfera, da superfície do solo e das plantas. Os meteorologistas aplicam duas técnicas para descrever a perda de água na forma gasosa:

- Primeiro: a evaporação é um processo de transformação da água da fase líquida para a fase gasosa. Essa troca requer gastos calóricos e gera energia conhecida como calor latente de vaporização.

- Segundo: a evaporação é um processo de transporte de vapor de água da superfície para a atmosfera. Esse método baseia-se no balanço de massa e no balanço de momento, técnicas clássicas para resolver processos de transporte na engenharia.

Para se chegar ao cálculo da evapotranspiração é necessário definir as dimensões do balanço de energia que por si só, na superfície, não possui capacidade calorífica. Porém, a radiação líquida absorvida pela superfície precisa ser totalmente dissipada, com isso utiliza dos seguintes mecanismos de dissipação de energia, que são três:

- Fluxo de calor do solo (G): energia usada para elevar a temperatura do solo e das plantas.

- Fluxo de calor sensível (H): energia usada para aquecer o ar acima da superfície ou densidade.

- Fluxo de calor latente (E): Energia usada para evaporação.

Assim temos a equação do balanço de energia:

$$R_1 = G + H + E; \quad (03)$$

E através dessa equação define-se a evaporação:

$$E = R_1 - G - H. \quad (04)$$

Definidos o balanço de energia e a evaporação, o cálculo da evapotranspiração potencial utiliza cinco categorias :

1) Lisímetros ou evapotranspirômetro: Constitui de tanques enterrados no solo para medir a percolação da água, devem reproduzir as mesmas características da área vizinha, precisam ser bem delimitados de modo que as raízes das plantas não cresçam desordenadamente e evitar efeito de bordo. Podem ser de pesagem, mais comuns e mais trabalhosos, os de drenagem de fácil cálculo e os de lençol freático.

O lisímetros constituem em:

- Lisímetro de drenagem: É baseado no princípio da conservação de massa para a água numa área determinada de solo e foi desenvolvido por Camargo (*apud* ANGELOCCI; E SENTELHAS, 2002). No, qual a função do armazenamento (ΔARM) é medida por: (P) é a água da chuva, (I) irrigação, (AC) ascensão capilar, (ET) evapotranspiração, (DP) drenagem profunda. Com a seguinte equação:

$$\Delta ARM = P + I - ET + AC - DP \quad (06)$$

- Lisímetro de lençol freático constante: Elaborado por Assis (*apud* ANGELOCCI; E SENTELHAS, 2002), é definido como um sistema automático que registra e alimenta o lençol freático de forma constante, e a evapotranspiração é igual ao volume de água que sai do esquema de alimentação.
- Lisímetro de pesagem: Mede a variação de peso de uma caixa impermeável automaticamente através de células de carga. De modo que se houver consumo de água pela vegetação o lisímetro acusa a diminuição de água através do peso da caixa.

Nas fórmulas empíricas são utilizados os métodos:

2) Thornthwaite (*apud* MOTA 1983) que utilizou uma fórmula baseada na evapotranspiração potencial na análise de lisímetros e de bacias hidrografias nos Estados Unidos. A fórmula de Thornthwaite (*apud* TUBELIS 1986) é amplamente utilizada em locais desprovidos de outros dados meteorológicos, pois utiliza apenas da temperatura média para sua definição que apresentou a seguinte equação:

$$E = 1,6 \left(\frac{10T}{I} \right)^a, \quad (07)$$

Sendo

E= evapotranspiração potencial;

T= temperatura média anual (°C);

a= constante que varia de lugar para lugar;

I= índice térmico definido através da soma de índices i mensais: $i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1,514}$.

3) Camargo (*apud* MOTA, 1983) para aprimorar o cálculo propôs diferentes tabelas, no qual a evapotranspiração é encontrada de acordo com a temperatura média anual.

4) O método de Penman (*apud* MOTA, 1983) utiliza o balanço de energia e métodos aerodinâmicos no cálculo da evapotranspiração, no qual derivou uma

equação de medidas de superfície que não são usadas. A equação baseia em princípios físicos, diferente do método de Thornthwaite (*apud* TUBELIS 1986).

O cálculo é de validade somente quando as estimativas reais da radiação líquida e da função do vento forem de uma região especificada. A equação de Penman (*apud* MOTA 1983) é a seguinte:

$$EP = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} \times \frac{R^1}{59} + Ea}{\frac{\Delta}{\gamma} + \frac{1}{S/D}} \quad (08)$$

Na qual, a evapotranspiração potencial em mm: Δ representa tangente à curva de pressão de saturação do vapor d'água na temperatura do ar; γ a constante psicrométrica, ou seja, a razão entre calor específico do ar para calor latente de evaporação da água; R^1 : é o valor da radiação líquida na superfície líquida em estudo em $\text{cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; Ea significa componente aerodinâmico em mm; S' o fator de impedância da difusão estomatal e D o fator de duração do dia. A equação de Penman (*apud* Mota 1983) apesar de adequar a situações reais e possuir tabelas próprias é de difícil aplicação, sendo fácil sua resolução quando, utiliza de calculadoras científicas ou softwares.

4) Para Pereira (*apud* ANGELOCCI; E SENTELHAS, 2002) a evapotranspiração trata-se de um processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera por evaporação de água no solo e transpiração das plantas. Caracteriza em evapotranspiração real, potencial dependendo das condições vegetais do local e sua área vegetada, da disponibilidade de água no solo. A evapotranspiração potencial (ETP) caracteriza pela quantidade de água que seria utilizada por uma extensa superfície vegetada, em crescimento ativo cobrindo toda a área, e sem restrição hídrica. A evapotranspiração real (ETR) é a quantidade real de água utilizada por uma superfície vegetada, com ou sem restrição de água.

Os autores citam vários métodos empíricos para estimar a evapotranspiração, a partir de dados analisados de estações agrometeorológicas. Nos quais, ao longo do tempo foram aprimorados de acordo com as tecnológicas empregadas. Entre os métodos, tem-se:

Método de Thornthwaite (*apud* PEREIRA *et al.*, 2002) trata-se de um dos primeiros métodos utilizados para estimar a evapotranspiração potencial. Primeiro calcula a evapotranspiração potencial padrão (ETp, mm/mês) ou seja,

$$ETp = 16 \left(\frac{10Tn}{I} \right)^a. \quad (08)$$

Sendo: Tn a temperatura média do mês n, em °C, I é o nível de calor disponível para a região, e se calcula pela fórmula: $I = \sum_{n=1}^{12} (0,2 Tn)^{1,514}$. Assim, o valor de Etp representa o total mensal de evapotranspiração dentro de um mês, ocorrido nas condições térmicas calculadas, num período diário de 12 horas. No caso de culturas irrigadas, o método de Thornthwaite (*apud* PEREIRA *et al.*, 2002), pode ser utilizada, basta conhecer o índice do calor disponível (I), e de (a) também um índice térmico, e a temperaturas dos dias que se pretende calcular a evapotranspiração. Em, um local onde a temperatura não está disponível, pode avaliá-la através das coordenadas geográficas (latitude e longitude). Sendo no território brasileiro, as temperaturas médias mensais positivas, o índice (I) pode-se estimar por :

$$12(0,2 Ta)^{1,514} \quad (09)$$

No qual Ta é a média anual.

Pereira *et al.* (2002) e Camargo (*apud* PEREIRA *et al.* 2002), simplificou o método de Thornthwaite (*apud* PEREIRA *et al.* 2002), elaborando uma tabela no qual os dados da evapotranspiração potencial diária está em função das temperaturas médias anuais e mensais. Definindo a equação:

$$ETP = 30 ET_T \text{ Cor.} \quad (10)$$

No qual, (Cor) é a correção do número de dias do mês. Camargo (*apud* PEREIRA *et al.* 2002) para facilitar a utilização do método elaborou uma tabela, na qual as medidas de temperatura anual e mensal já estão calculadas. Assim, acrescenta o número 30 ao cálculo evidenciando os dias de um mês ($ETP = 30ET_T \text{ Cor}$) Se for estimar ETP segundo método de Thornthwaite (*apud* PEREIRA *et al.* 2002), com base diária, basta substituir 30, por número de dias (N/D). Camargo utiliza da fórmula:

$$ETP = 0,01 Q_0 T N/D. \quad (11)$$

Sendo, (Q0) é irradiância solar da Terra, expressa em milímetro (mm) de evaporação diária, (T) temperatura média, e (N/D) número de dias. Esta fórmula reproduz com mais exatidão a de Thornthwaite (*apud* PEREIRA *et al.* 2002).

O método do Tanque Classe A, (*apud* PEREIRA *et al.* 2002) baseia-se na estimativa da evapotranspiração de referência, aplicada no manejo da irrigação. Se faz através de um pequeno tanque, no qual as paredes laterais recebem diretamente radiação solar, e a água do tanque não oferece resistência ao processo evaporativo, por isso aplica-se um fator de correção denominado coeficiente de tanque (kp), para se ter a ETo necessária, na qual:

$$E_o = K_p ECA. \quad (12)$$

O índice (kp) sempre menor que 1, é função da velocidade do vento e da umidade do ar, do tamanho da borda do tanque e de sua vegetação. Os valores são retirados de uma tabela, no qual Kp é a somatória de todas funções citadas acima.

Hargreave & Samani (*apud* PEREIRA *et al.*, 2002) desenvolveram um método de cálculo da evapotranspiração potencial para condições semiáridas da Califórnia (EUA), a partir dos dados do lisímetro de pesagem cultivado em grama. Apresentando a seguinte fórmula:

$$ETP = 0,0023 Q_o (T_{max} - T_{min})^{0,5} (T_{med} + 17,8). \quad (13)$$

Sendo: (Qo) é a irradiação solar extraterrestre em milímetro (mm), (Tmax) temperatura máxima, (Tmin) temperatura mínima, (Tmed) temperatura média do ar, expressas em °C, os valores são retirados de uma tabela proposta por Camargo (1971).

Priestley-Taylor (*apud* PEREIRA *et al.*, 2002) estimou o cálculo da evapotranspiração potencial, no qual se utiliza:

$$P(\text{mm d})^{-1}, \text{ ou: } ETP = 1,26W(R_n - G)/2,45. \quad (14)$$

Em que, (Rn) radiação líquida total, (G) é o fluxo total, (W) fator de ponderação vai depender da temperatura e do coeficiente psicrométrico, e calcula-se: $W = 0,407 + 0,0145 T$ ($0^\circ\text{C} < T < 16^\circ\text{C}$) e $W = 0,483 + 0,01T$ ($16,1^\circ\text{C} < T < 32^\circ\text{C}$). No caso de não se encontrar (G), adota-se a fórmula $G = f R_n$, onde (G) é calculado em função da temperatura do ar pela equação: $G = 0,38(T_d - T_{-3d})$, ou, quando é mensal o cálculo é

definido por $G=0,14 (T_m - T_{-m})$. T_m é a temperatura média do ar no mês, e T_{-m} é a temperatura média do ar do mês anterior.

Um método muito utilizado em pesquisas por ser considerado completo em variáveis, para o cálculo da evapotranspiração potencial é o de Penman-Monteith (*apud* PEREIRA, et al 2002). Penman em (*apud* PEREIRA et al., 2002) descreveu um método de cálculo da evapotranspiração micro meteorológico, que sofreu modificações e em 1998 foi utilizada a seguinte fórmula:

$$(15)$$

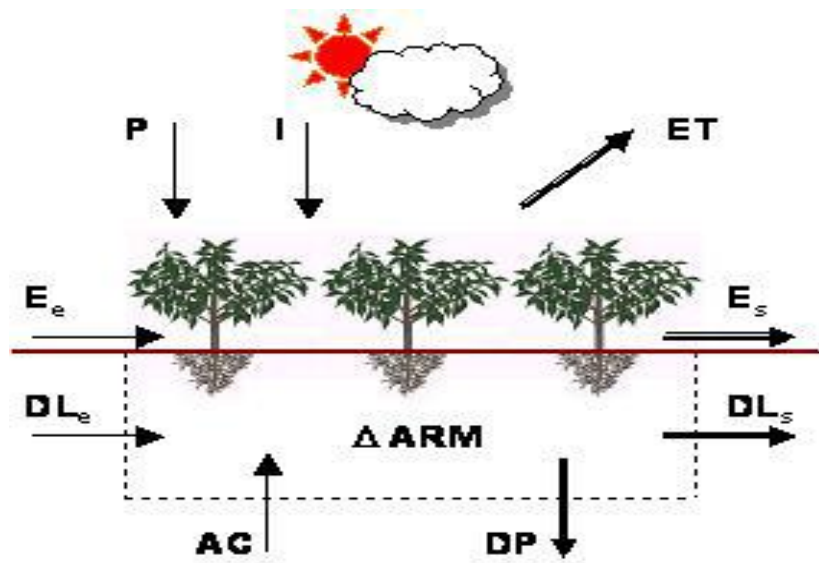
$$\frac{0,408 s (R_n - G) + \frac{\gamma^{900} U_2 (e_s - e_a)}{T + 273}}{S + \gamma(1 + 0,34 U_2)}$$

Na qual (RN) é a radiação líquida, (G) fluxo de calor do solo, (γ) é a constante psicrométrica, (T) é a temperatura do ar, (U) velocidade do vento, (e_s) é a pressão de saturação do vapor (KPa), (e_a) é a pressão parcial do vapor (KPa), e (S) é a declividade da curva de vapor na temperatura do ar.

Apesar da disponibilidade de métodos para se calcular a evapotranspiração potencial, fator importante no cálculo do balanço hídrico. É preciso levar em conta, a disponibilidade de dados meteorológicos, pois há métodos complexos como o de Penman-Monteith (*apud* PEREIRA et al., 2002), que precisa de uma pesquisa complexa para realização do seu cálculo. No fator tempo, as condições climáticas são variáveis também utilizadas para a estimativa da evapotranspiração. Assim, o método de Thornthwaite (*apud* PEREIRA et al., 2002) e Camargo (*apud* PEREIRA et al., 2002) é utilizado em diversas regiões úmidas devido a regiões que apresentarem essas características, e Hargreaves & Samani (*apud* PEREIRA et al., 2002) para regiões de clima seco.

O balanço hídrico é utilizado na agricultura, que se define a partir do resultado da entrada e saída de água no solo. “É um método de se calcular a disponibilidade de água no solo para as comunidades vegetais”. (TUBELIS, 1986, p.300), levando em consideração a precipitação perante à evapotranspiração potencial, com a capacidade de armazenamento de água no solo.

Figura 01: Esquema de entrada e saída de água no solo



Fonte: PEREIRA (2002).

Sendo:

P=precipitação;

I=irrigação;

E=escoamento superficial;

DL=drenagem lateral;

AC=ascensão capilar;

ET=evapotranspiração;

DP=drenagem profunda;

Δ ARM=armazenamento.

A disponibilidade de água nos solos está relacionada diretamente com o fator de concentração de vegetação, do que com a precipitação, pois com uma área vegetada a infiltração é mais eficiente. Para realizar o cálculo do balanço hídrico Thornthwaite (*apud* TUBELIS1986) criou uma estimativa, na qual se utiliza das seguintes variáveis: precipitação, evapotranspiração, evapotranspiração potencial e real, excedente hídrico e deficiência hídrica. O método “considera que a água do solo é igualmente disponível aos vegetais desde a capacidade de campo até o ponto de murchamento permanente”. (TUBELIS, 1986, p.303).

O método é extensamente utilizado na agronomia para desenvolver projetos agrícolas quando há um déficit hídrico em um determinado período. Para SILVA-VAREJÃO (2001), o balanço hídrico consiste em efetuar a contabilidade hídrica do solo, até a profundidade explorada pelas raízes computando-se, sistematicamente,

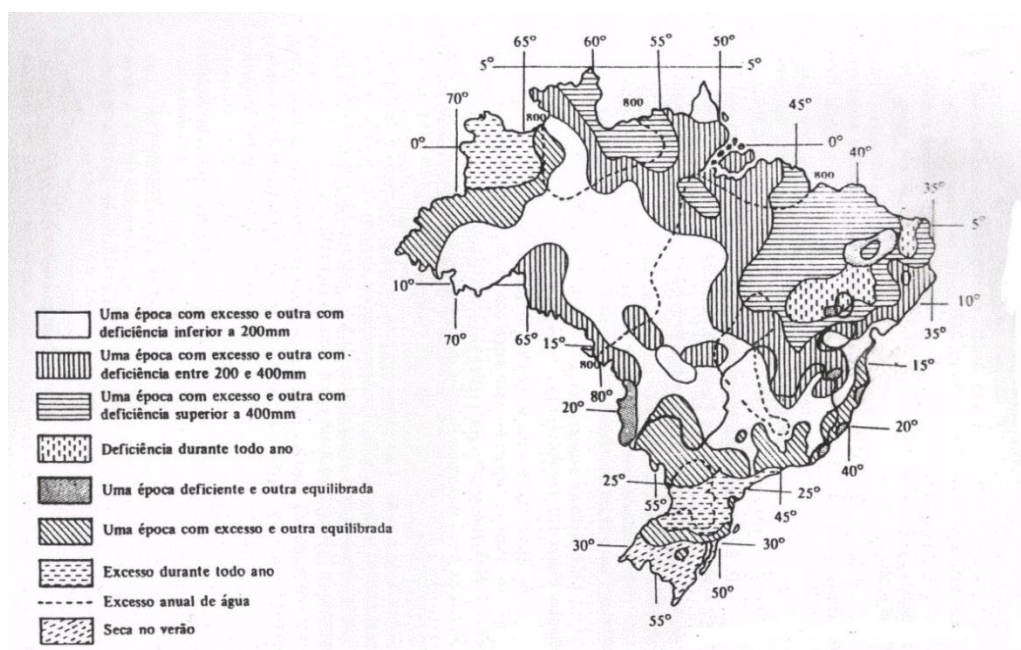
todos os fluxos positivos (entrada) e negativos (saída) de água no solo. Na climatologia ele passa a ser utilizado para mapeamento de áreas climatologicamente homogêneas.

Mota (1983) utiliza o balanço hídrico para definir zonas climáticas ideais para culturas, e caracterizar condições climáticas de uma região, e localizar regiões onde há maior disponibilidade hídrica, ou déficit de água. A equação do balanço hídrico foi estabelecida pelo Mota (1983) da seguinte forma: Precipitação + Água de irrigação = Mudanças de umidade do solo + Evapotranspiração + Percolação + Deflúvio superficial. Ou

$$P+I=U+ETP+C+Ds \quad (16)$$

Na qual utiliza esse método para calcular o balanço hídrico segundo, Thornthwaite-Mather (*apud* MOTA 1983), onde na equação do balanço desse tipo pode-se determinar para qualquer período os seguintes elementos: deficiência de umidade, umidade armazenada nas zonas radiculares, a percolação de água, a evapotranspiração real. Com os resultados da tabela de Thornwaite-Mather (*apud* MOTA1983). Mota (1983) adotou um critério para definir o período de deficiência hídrica para o Brasil, no qual pode-se observar na Figura 02:

Figura 02: Tipos de regime hídrico no Brasil segundo Mota (1983).



Fonte: Meteorologia agrícola (1983).

Ayoade (2001) cita tipos climáticos desenvolvidos por diversos estudiosos, como W. Köppen, entre 1900 a 1936 definindo de forma simples e popular cinco grupos climáticos principais reconhecidos através da temperatura, e derivam 24 tipos climáticos.

Em contrapartida, Nimer (1989a), através do balanço hídrico climatológico definiu índices climáticos para serem usados em estudos de classificação e correlação do clima, através de seus estudos o autor definiu tipos climáticos para o Brasil, utilizando o sistema classificador de Thornthwaite (*apud* NIMER 1989a), que deriva de um cálculo. No qual determinou o Índice de Umidade Efetiva (Im) utilizado para definir as variáveis do clima: seco ou úmido, entre os excessos e os déficits hídricos e a necessidade potencial de água elaborou a seguinte equação, podendo ser observado na Tabela (01).

$$Im = (EXC \times 100) - (DEF \times 60) / EP. \quad (17)$$

Onde os índices de correção 100 é utilizado para o excesso, e 60 é usado no déficit que afeta o (Im), pois, nas maiorias dos lugares o excesso de água e o déficit dela ocorre em estações distintas, de modo que uma afeta positivamente e a outra negativamente. Com isso criou-se dois grupos climáticos: úmido (Im positivo), secos (Im negativo), derivando outros tipos climáticos com sua simbologia e o índice de umidade:

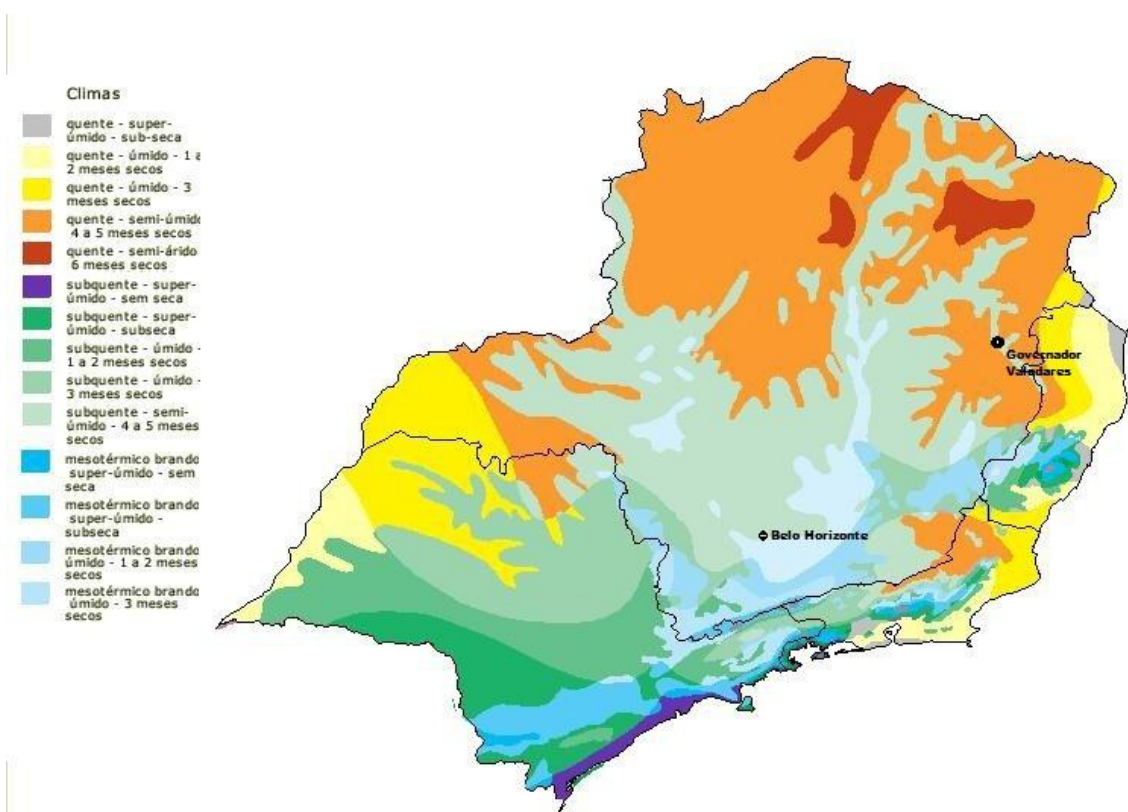
Tabela 01: Classificação Climática de Nimer (1989)

GRUPO DE CLIMA	TIPOS CLIMÁTICOS	SIMBOLOS	Im
ÚMIDO.	Superúmido	A	>100
	Quarto úmido	B4	100-80
	Terceiro úmido	B ³	80-60
	Segundo úmido	B ²	60-40
	Primeiro úmido	B ¹	40-20
	Subúmido úmido	C ²	20-0
SECO	Subúmido seco	C ¹	0-(-20)
	Semi-árido	D	(-20)- (-40)
	Árido	E	(-40)-(-60)

Fonte: Nimer (1989)

A classificação climática desenvolvida por Nimer (1989 b), tabela 01, através do cálculo do balanço hídrico é utilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, como sendo o mais adequado para as dimensões do território brasileiro. Classificando o Clima de Governador Valadares como semi-úmido com 4 à 5 meses secos (Figura 03):

Figura 03: Classificação climática desenvolvida por Nimer(1989).



Fonte: IBGE (2006).

Para o cálculo do balanço hídrico existem vários métodos dos quais fatores como, a irrigação, a capacidade de armazenamento de água no solo são levados em conta. No Brasil, utiliza o método criado em 1948 por Thornthwaite (*apud* TUBELIS,1986) no qual considera a água no solo disponível as comunidades vegetais desde a capacidade de campo até o ponto de murchamento permanente, ou seja, quando não há disponibilidade hídrica no solo e com isso as plantas ficam sem água. Thornthwaite (*apud* TUBELIS,1986) utiliza como estimadores a precipitação e a evapotranspiração, onde a partir dos cálculos estimam também a evapotranspiração potencial e a evapotranspiração real, o deficiente e o excedente hídrico. Em

Thornthwaite-Matter (*apud* TUBELIS,1986) acrescentou a negativa acumulada, que resulta da acumulação menos a evapotranspiração real e evidencia o armazenamento de água num dado período de tempo.

Cupolillo (2008) utilizou o Balanço Hídrico Climatológico aplicado às 10 estações climatológicas principais situadas na bacia do Rio Doce, utilizando-se do método Thornthwaite-Matter, no qual se explica a importância da aplicabilidade deste método às bacias hidrográficas, pois permite analisar quais os mecanismos atmosféricos que agem no comportamento hídrico da região estudada, esses mecanismos podem se transformar em bloqueios atmosféricos causando uma redução de chuvas nos períodos chuvosos sendo caracterizado como veranicos climatológicos. Outro fator importante que o balanço hídrico determina é as vazões que uma determinada área possui, e a influência que a topografia exerce nessa vazão. As áreas que apresentam formações geológicas com fraturas e falhas favorecem a formação de aquíferos alimentando rios nos períodos de estação seca ou períodos de longos veranicos. Cupolillo (2008), destaca que na região de Governador Valadares, segundo a classificação de W. Köppen é do tipo (Aw) quente com chuvas de verão e inverno seco apresentando precipitações inferiores a 60 mm.

Na bacia do Rio Doce, especificamente na região da cidade de Governador Valadares, cujas coordenadas geográficas são: 41°94' de longitude oeste e 18°85' latitude sul, a topografia irregular, a geografia local e processos adiabáticos de subsidência do ar, ocasionados pela atuação de mecanismos atmosféricos como: o Anticlone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e o Cavado do Nordeste (CN), interferem no clima do local, levando a região a ter as menores médias de precipitação de toda bacia estudada, segundo Cupolillo (2008).

Os dados para realização do balanço hídrico climatológico do período de 2011-2012 foram extraídos através do Instituto Nacional de Meteorologia-INMET, e em seguida transferidos para o programa computacional Excel™ (Rolim, 1998), no qual se calculou as médias das temperaturas e as somatórias de chuvas do período estudado. O cálculo da média de temperatura se deu através da seguinte equação:

$$Tm = \sum_{i=1}^{nd} di/N. \quad (18)$$

Sendo, Tm é a média sazonal DPC e DPS por ano, nd é o número de decênios, $\sum_{i=1}^{nd} di$ é o somatório das temperaturas por decênios, DPC e DPS, N é o número de decênios de dados para cada local. Para o cálculo das precipitações usa-se a equação:

$$P_m = \sum_{i=1}^{nd} di. \quad (19)$$

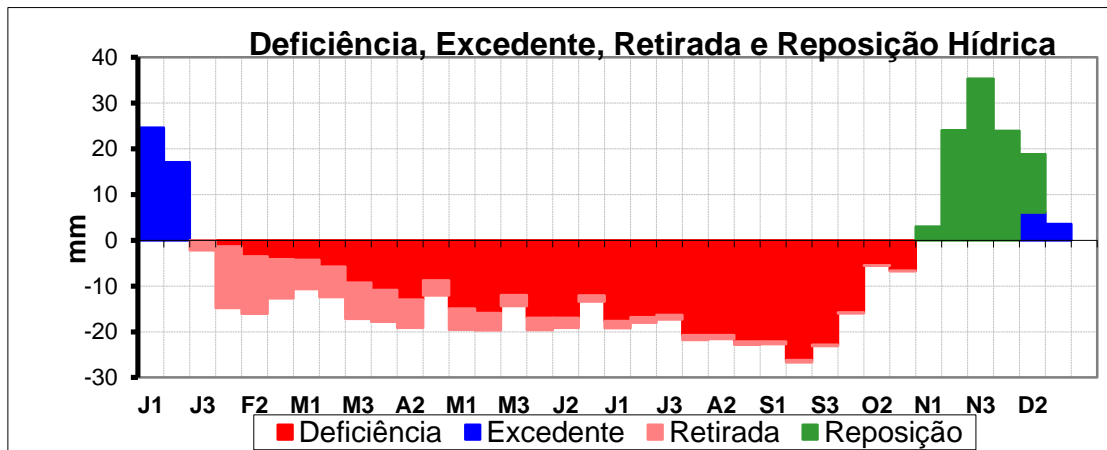
Sendo, P_m é a média sazonal DPC e DPS por ano, nd número de decêndios, $\sum_{i=1}^{nd} di$ é o somatório das precipitações acumuladas por decêndios, DC e DPS.

Os dados foram divididos em decêndios, períodos de dez dias consecutivos dentro de um mês, e dispostos em um gráfico para melhor visualização dos resultados.

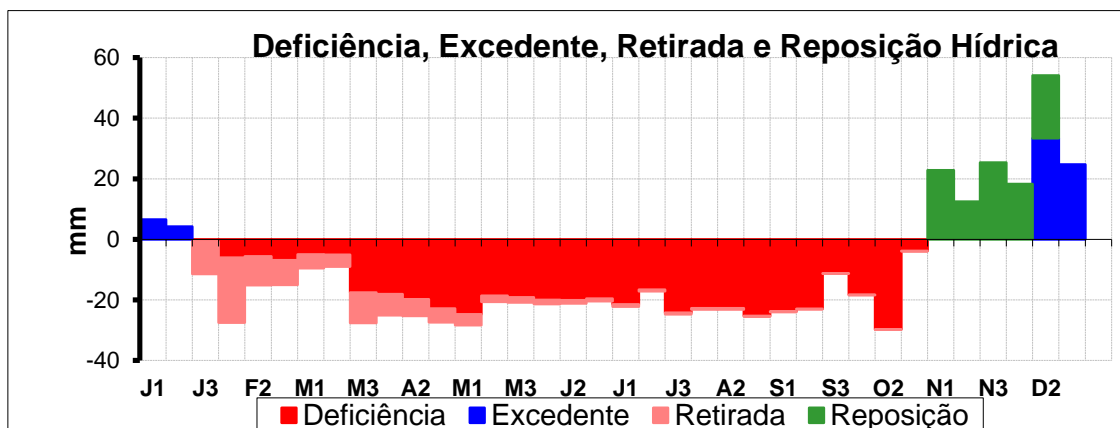
Em seguida comparou o gráfico gerado (Figura 05), com os balanços hídricos climatológicos decendiais, com os períodos calculados por Cupolillo (2008), respectivos a 1961-1990 e 1991 a 2002 (Figuras 4a e 4b).

Figura 04a e 04b: Balanços Hídricos Climatológicos Decendiais
(1961-1990 e 1990-2002)

(a)



(b)



Fonte: Cupolillo (2008), dados do INMET.

Portanto, alguns questionamentos são imprescindíveis em relação a este estudo: Os aspectos climatológicos afetaram as variáveis do balanço hídrico ao longo dos períodos estudados? O veranico influencia na reposição hídrica na região?

Como objetivo geral deste estudo propõe elaborar um estudo de caso através do balanço hídrico da região, a fim de demonstrar os períodos de deficiência hídrica e as mudanças ocorridas ao longo das décadas estudadas, nas estações chuvosas (outubro a março) e secas (abril a setembro). Como objetivos específicos pode-se citar: (1) caracterizar os períodos de deficiências hídricas da região, (2) identificar o período decendial de veranico na região, (3) identificar as variáveis climatológicas que definem o balanço hídrico e (4) identificar os mecanismos atmosféricos que influenciam o balanço hídrico da região.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A comparação do balanço hídrico climatológico decendial ao longo dos anos é uma forma de caracterizar os períodos de excedente e deficiência hídricas com mais precisão. Com isso observa-se que a reposição e o excedente na figura 04a inicia-se no 1º decêndio do mês de novembro até o 2º decêndio do mês de janeiro, caracterizando a estação chuvosa. A retirada e deficiência hídricas tem início no 3º decêndio de janeiro e finaliza-se no 3º decêndio de outubro. Desta maneira, climatologicamente, para o período de 1961-1990, a estação chuvosa apresenta oito decêndios, enquanto a estação seca 28 decêndios.

Na figura 04b, as estações chuvosas, reposição e excedente hídricos e a seca retirada e deficiência hídricas, respectivamente, inicia-se no 1º decêndio do mês de novembro até o 2º decêndio do mês de janeiro, e do 3º decêndio de janeiro até o 3º decêndio de outubro. Desta maneira, climatologicamente, tanto no período de 1961-1990 como no 1990-2002, a estação chuvosa apresenta oito decêndios, enquanto a estação seca 28 decêndios.

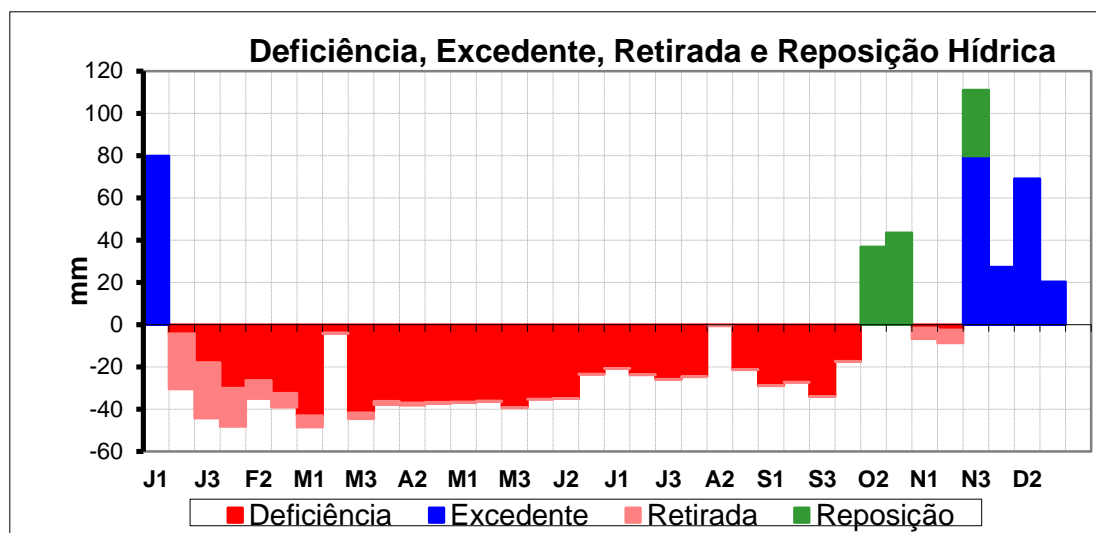
As diferenças encontradas entre os dois períodos, 1961-1990 e 1990-2002, demonstram que na estação chuvosa (Figura 04a) o menor excedente é encontrado nos 2º e 3º decêndios de dezembro, e os maiores nos 1º e 2º decêndios de janeiro. Enquanto na figura 04b o processo se inverte; os 2º e 3º decêndios de dezembro apresentam os maiores excedentes e nos 1º e 2º decêndios de janeiro, os menores.

Na estação seca (Figura 04a), as maiores intensidades de retiradas e deficiências hídricas são encontradas entre os decêndios 1º de agosto a 3º setembro.

Enquanto na figura 04b, as maiores intensidades de retiradas e deficiências hídricas encontram-se nos decêndios 1º de fevereiro, 3º de março a 1º de julho, 3º de julho a 2º de setembro e no 2º decêndio de outubro.

Tal fato demonstra que no período de 1961-1990 (Figura 04a) as maiores intensidades acima de 20 mm de retiradas e deficiências hídricas estão concentradas em números menores de decêndios. Enquanto no período de 1990 a 2002 (Figura 04b) a intensidade das retirada e deficiência estão bem distribuídas por quase toda a estação seca, tornando-a mais rigorosa a região de Governador Valadares. Portanto, pode-se afirmar que a estação seca na figura 04b é mais intensificada do que na figura 04a.

Figura 05: Balanço hídrico climatológico 2011/2012



Fonte: INMET (2012).

No período 2011-2012 (Figura 05) demonstra-se como anômalo às características da climatologia dos períodos anteriores (Figuras 04a e 04b). Observa-se que a estação chuvosa inicia-se no 2º decêndio de outubro e finaliza-se no 1º decêndio de janeiro. Apresentando, desta maneira, duas peculiaridades importantes se comparadas à climatologia dos períodos anteriores. A primeira refere-se à redução de 8 para 7 decêndios e a segunda a presença de um veranico agrônomo nos 1º e 2º decêndios de novembro.

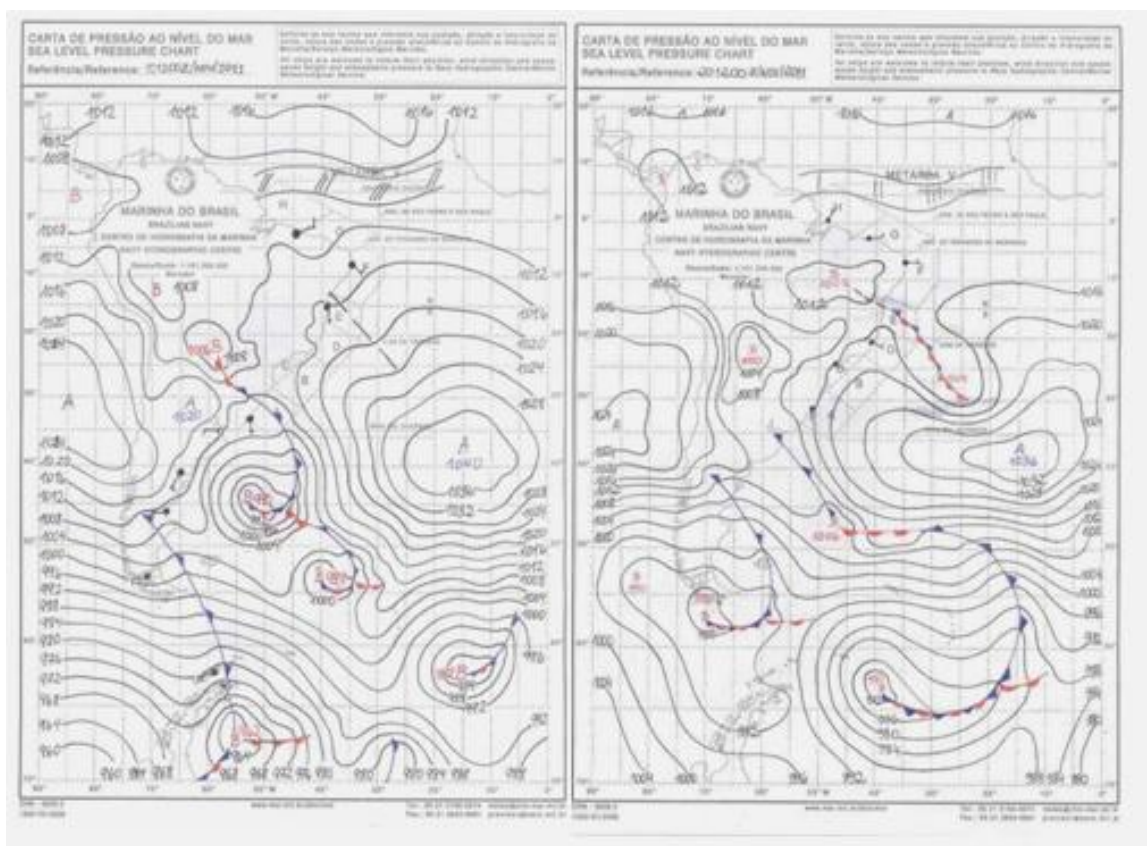
Anomalias foram encontradas também na estação seca; identificou-se 29 decêndios de retirada e deficiências hídricas das quais, com exceção dos decêndios 2º

de março a agosto e 1º de outubro, todos os outros ultrapassaram valores iguais e/ou superiores a 30 mm.

Tal fato demonstra que a estação seca do período do estudo de caso (Figura 5), apresentou uma variabilidade de 10 ou mais mm acima da climatologia (20 mm) dos períodos anteriores (Figuras 4a e 4b), indicando um processo de fluatibilidade temporal do período em estudo.

Quanto aos mecanismos atmosféricos, predominantes nos dois primeiros decêndios de novembro de 2011, verificou-se a influência do ASAS sobre a região de Governador Valadares, ocasionando, através de processos adiabáticos subsidência do ar e estabilidade atmosférica, a exemplo ocorrido nos dias 10 e 20 de novembro de 2011 (Figuras 06a e 06b). Tal fato explica a ocorrência do fenômeno veranico ocorrido no 1º e 2º decêndios de novembro de 2011.

Figura 06a e 06b: Cartas sinóticas referentes, respectivamente, aos dias 10 de novembro de 2011(a) e 20 de novembro de 2011, às 12h00min Zulu.



Fonte: Marinha do Brasil (2012).

CONCLUSÕES

Na comparação do balanço hídrico climatológico do período 2011-2012 (Figura 5), com a climatologia 1961-1990 e 1990-2002 (Figuras 4a e 4b), verificou-se a não ocorrência de veranicos climatológicos nos decêndios de fevereiro. Nas figuras 04a, 04b destacam um período de vinte e oito decêndios sem a presença significativa de precipitação, enquanto na figura 05 ocorreram vinte e nove decêndios de retirada e deficiência hídrica em Governador Valadares.

O balanço hídrico de 2011-2012 comportou-se de forma anômala à climatologia analisada, pois observa-se que na estação chuvosa a reposição e o excedente hídrico iniciam-se no 2º e 3º decêndios de outubro, seguido de veranico nos dois primeiros decêndios de novembro, retirada e deficiência hídrica, reiniciando a reposição e excedente hídrico a partir do 3º decêndio de novembro até o 1º decêndio de janeiro de 2012. Outro fator de destaque é o aumento nos volumes de excedentes hídricos que nos decêndios 3º de novembro e 1º de janeiro atingiram cotas pluviométricas de 80 mm.

Portanto, conclui-se que o mecanismo atmosférico responsável na configuração do balanço hídrico decendial de 2011-2012 na região de Governador Valadares, foi o ASAS que gerou dois efeitos:

- a- nos decêndios de novembro, através da subsidência do ar, ocasionou o fenômeno veranico;
- b- através do seu giro anticiclônico e anti-horário contribuiu para entrada de mais umidade de origem oceânica no vale médio do Rio Doce, provocando chuvas atípicas em Governador Valadares nos decêndios de junho a agosto.

Recomenda-se que futuros estudos de balanços hídricos decendiais, deverão ser feitos para região de Governador Valadares, no sentido de monitorar a disponibilidade hídrica na região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AYOADE, J. O. **Introdução a climatologia dos trópicos**. 7^o ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. 332 p.

CORREA, Wesley Souza Campos; SIMÕES, Anderson da Silva; MARCHIORO, Eberval. **Comparação do balanço hídrico de três decêndios do município de Vitória (ES)**. 2001. 05 f. Artigo (Graduação em Geografia) - Escola de Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2001. Disponível em: <http://www.sbagro.org.br/cba2011/arquivo_pdf/apresentacao_posteres_CBA_2011.pdf>. Acesso em: 28/05/2012.

CUPOLILLO, Fulvio. **Diagnóstico Hidroclimático da Bacia do Rio Doce**. 156 p. Tese (Doutorado em Climatologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/1843/MPBB-F8NTB/1/final_em_pdf.pdf>. Acesso em: 23/05/2012

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia Científica**. 5^o ed. São Paulo: Atlas, 2011. 312 p.

MARINHA DO BRASIL - Protegendo Nossas Águas. Diretoria de Hidrografia e Navegação. **Centro de Hidrografia da Marinha: Serviço Meteorológico Marinho – Cartas Sinóticas**. Em: <<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas>>. Acesso em: 08/09/2012.

MOTA, Fernando Silveira da. **Meteorologia agrícola**. 7^a ed. São Paulo: Nobel, 1983. 376 p.

MONTEIRO, José Eduardo B. A. **Avaliação de métodos de estimativas de evapotranspiração potencial diária em regiões brasileiras**. Artigo (Instituto Nacional de Meteorologia). Brasília, 1998. Disponível em: <www.cbmet2012.com/anais/artigo>. Acesso em: 28/05/2012.

NETO, João Lima Sant'Anna. **Décálogo da Climatologia do Sudeste Brasileiro**. Artigo. São Paulo Disponível em: <www.fct.unesp/docentes/geo/joaolima/decalogo>. Acesso em: 23/05/2012.

NIMER, Edmon; BRANDÃO, Ana Maria P. M. **Balanço hídrico e clima da região dos Cerrados**. Rio de Janeiro IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989a.

NIMER, Edmon. **Climatologia do Brasil**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 1989b. 422 p.

PEREIRA, Antônio Roberto; ANGELOCCI, Luiz Roberto; SENTELHAS, Paulo César. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

ROLIM, Glauco de Souza. *et al.* **Planilhas no ambiente EXCEL™ para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 6, n.1, p 133-137, 1998.

SILVA-VAREJÃO, Mário Adelmo. **Meteorologia e Climatologia**. Brasília: PAX ed., 2001. 532 p.

SOUSA, Erlan Silva de. et al. **Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a cidade de Palmas – TO**. 2001. 05f. Artigo (Graduação em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Tocantins - UFT, Tocantins, 2011. Disponível em: <<http://www.pt.scribd.com/doc/52929530/Artigo-Balanco-Hidrico-Erlan.pdf>>. Acesso em: 28/05/2012.

TUBELIS, Antônio; NASCIMENTO, Fernando José Lino do. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo; Nobel. 1986. 374 p. 1ª ed. 4ª reimp.