

ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORQUETA

Antover Panazzolo Sarmento¹; Henderson Wanderley²; Patrícia Porta Nova da Cruz²; Heber Martins de Paula¹; Eliane Aparecida Justino¹

Resumo – O fenômeno da precipitação é o elemento alimentador da fase terrestre do ciclo hidrológico. Por isso, a estimativa de dados que apresentam falhas é uma das mais importantes tarefas exigidas em muitos estudos hidrológicos de modelagem. O objetivo geral desse trabalho foi fazer uma análise geral da precipitação na bacia hidrográfica do Rio Forqueta e objetivos específicos são: estabelecer a série anual das alturas máximas precipitadas com duração de 24 horas; fazer o preenchimento de falhas; obter as alturas máximas precipitadas para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 e 25 anos pela análise de frequência; fazer a análise de consistência dos dados pluviométricos mensais da estação base; determinar a precipitação média para a área de drenagem individualizada pelos métodos: Thiessen e Isoietas. As principais conclusões foram que a distribuição estatística Pearson 3 foi a que melhor se ajustou e que o método das Isoietas foi o que apresentou melhores resultados, uma vez que este método leva em consideração as características de relevo, além de ter utilizado os dados das 5 estações na interpolação.

Abstract – The phenomenon of the precipitation is the element feeder of the terrestrial phase of the hydrologic cycle. Therefore, the estimate of data that present imperfections is one of the most important tasks demanded in many hydrologic studies of modeling. The general objective of this work was to make a general analysis of the precipitation in the hydrographic basin of the River Forqueta and specific objectives are: to establish the annual series of 24-hour the precipitated maximum heights with duration; to make the fulfilling of imperfections; to get the precipitated maximum heights for the periods of return of 2, 5, 10, 20 and 25 years for the frequency analysis; to make the analysis of consistency of the monthly rainfall data of the station base; to determine the average precipitation for the area of draining individualized for the methods: Thiessen and Isohyets. The main conclusions had been that the distribution statistics Pearson 3 was the one that better if I adjust and that the method of the Isohyets was what presented better resulted, a time that this method takes in consideration the relief characteristics, beyond having used the data of the 5 stations in the interpolation.

Palavras-Chave – precipitações máximas; Thiessen, isoietas.

¹Professor Assistente da Universidade Federal de Goiás. Av. Dr. Lamartine Pinto de Avelar, 1120, Setor Universitário, Catalão-GO, 75704-020 - Telefone: (64) 3441-5325. email: antoverps@hotmail.com; heberdepaula@hotmail.com; eliane_civ@hotmail.com

²Doutorandos do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola da UFV/Viçosa-MG, hendynho@hotmail.com; p_portanova@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

O comportamento hidrológico de uma região é determinado por suas características físicas, geológicas, topográficas, e por seu clima. Os fatores climáticos mais importantes são a precipitação, sua distribuição e modos de ocorrência, e a evaporação, responsável direta pela redução do escoamento superficial, por retirar das superfícies líquidas grandes quantidades de água, incorporando-a na atmosfera; esse fato é tão mais acentuado quanto mais próximo dos trópicos a região em estudo estiver (Villela e Matos, 1977).

O fenômeno da precipitação é o elemento alimentador da fase terrestre do ciclo hidrológico e constitui, portanto, fator importante para os processos de escoamento superficial direto, infiltração, evaporação, transpiração, recarga de aquíferos, vazão básica dos rios e outros.

Quando se faz um estudo de planejamento de longo prazo do uso de uma ou mais bacias hidrográficas, a precipitação é um dado básico, pois não sofre influências diretas de alterações antrópicas provocadas no meio. As alterações do uso do solo, por exemplo, sobre as vazões escoadas, poderão ser avaliadas por modelos matemáticos que transformam as chuvas em vazões, e que consideram as variações de infiltração em função da área impermeável da bacia.

Coulibaly e Evora (2007) comentam que os totais diários de precipitação são provavelmente os dados mais importantes para se modelar uma previsão, determinar a qualidade da água, bem como a simulação do impacto das alterações climáticas sobre sistemas de recursos hídricos, meteorológica e agrícola. No entanto, os registros de precipitação frequentemente sofrem de falta de dados devido à avaria dos equipamentos ou erros de coleta.

A falta de informação quanto à distribuição espacial da precipitação é um sério obstáculo ao desenvolver técnicas para estimá-la e/ou interpolá-la (Alves *et al.*, 2008). Sendo um causador de grande incerteza quanto aos dados estimados. Djurabekova *et al.* (2007) citam que além disso, os registros de várias estações apresentam falhas, as quais dificultam o processo de estimação, aumentando o erro na interpolação da variável para essa localidade. Teegavarapu e Chandramouli (2005) comentam que a estimativa de dados que apresentam falhas é uma das mais importantes tarefas exigidas em muitos estudos hidrológicos de modelagem.

2. OBJETIVO

O objetivo geral desse trabalho foi fazer uma análise geral da precipitação na bacia hidrográfica do Rio Forqueta.

Os objetivos específicos são:

- Estabelecer a série anual das alturas máximas precipitadas com duração de 24 horas.
- Fazer o preenchimento de falhas com base nos métodos de ponderação regional e regressão linear;

- Obter as alturas máximas precipitadas para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 e 25 anos pela análise de frequência;
- Fazer a análise de consistência dos dados pluviométricos mensais da estação base usando o programa HIDRO – PLU.
- Determinar a precipitação média para a área de drenagem individualizada pelos métodos: Thiessen e Isoietas; considerando as seguintes variáveis: precipitação total anual e precipitação do semestre mais chuvoso.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico foi mostrada a área de estudo e a metodologia utilizada para fazer-se a análise da precipitação do Rio Forqueta.

3.1. Área de estudo

A área de estudo localiza-se na bacia hidrográfica do rio Taquari, situada no nordeste do estado do Rio Grande do Sul, abrangendo, entre outros, os municípios: Soledade, Pouso Novo, Marques de Souza, Arroio do Meio, Travesseiro e Lajeado, encontra-se inserida entre as latitudes 29°30' e 28°49' S e as longitudes 52°00' e 52°45' O. O Rio Forqueta apresenta-se encaixado em um vale de encostas muito íngremes, alternando poços e corredeiras, eventualmente intercalados por saltos de pequeno porte, tendo sua foz no rio Taquari entre os municípios de Lajeado e Arroio do Meio.

3.2. Estações pluviométricas

Os dados das estações utilizadas neste estudo foram baixados do sítio da ANA (Agência Nacional de Águas) pelo Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb), juntamente com o arquivo de inventário de dados hidrológicos.

Utilizou-se como base a estação Pouso Novo (02952029) e como apoio as estações Ilópolis (02852014), Maurício Cardoso (02852017), Arvorezinha (02852003) e Marques de Sousa (02952006).

Na Tabela 1 estão apresentados os códigos das estações, com a latitude e longitude correspondente.

Tabela 1 - Estações pluviométricas com as coordenadas geográficas.

	02952029	02852014	02852003	02852017	02952006
Latitude	29°10'00'' S	28°55'00'' S	28°52'00'' S	28°47'00'' S	29°19'00'' S
Longitude	52°10'00'' O	52°07'00'' O	52°11'00'' O	52°10'00'' O	52°05'00'' O

A estação 02952029 foi definida com base por ser a única estação que se encontra dentro da bacia hidrográfica de estudo. Na Figura 1 estão localizadas as estações e a bacia hidrográfica do rio Forqueta.

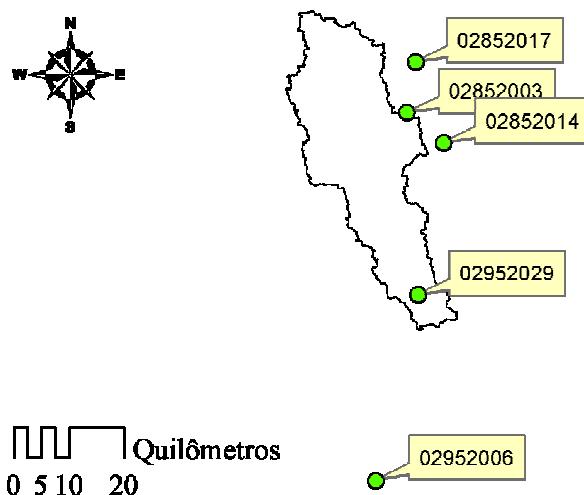


Figura 1. A localização das estações e a delimitação da bacia hidrográfica

3.3. Aplicativos utilizados

O aplicativo RH 3.0a foi usado para a realização da análise probabilística. Este programa foi desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) e neste presente trabalho foi utilizado especificamente nas distribuições probabilísticas de Gumbel, Normal, Log-normal a 2 e 3 parâmetros, Pearson 3 e Weibull que foram ajustadas após a entrada da série de precipitações máximas anual no programa.

O programa HIDRO-PLU foi utilizado na análise de consistência dos dados pluviométricos mensais da estação base.

Para que as precipitações referentes aos eventos em estudo pudessem ser tratadas foi utilizado um aplicativo de sistemas de informações geográficas.

3.4. Séries anuais das alturas máximas precipitadas com duração de 24 horas

As séries anuais das alturas máximas precipitadas com duração de 24 horas foram escolhidas da série histórica obtida para as estações pluviométricas selecionadas para este trabalho.

3.5. Preenchimento de falhas

Para o preenchimento de falhas da série de precipitações máximas de 24 horas utilizaram-se os dados disponíveis do período de 1953 a 1978 das séries históricas das estações. Esse

preenchimento de falhas pode ser feito pelos métodos de ponderação regional, regressão linear e ponderação regional com base em regressões lineares.

3.5.1. Ponderação regional

Para fazer a análise pelo método da ponderação regional para o preenchimento de falhas na série de dados foram obtidas as médias (normais) e com os valores de precipitações das estações de apoio foi calculado o valor de precipitação, da estação de estudo. Para se efetuarem os cálculos utilizou-se a equação (1):

$$P_y = \frac{1}{n} \left[\frac{N_y}{M_{x_1}} P_{x_1} + \frac{N_y}{M_{x_2}} P_{x_2} + \dots + \frac{N_y}{M_{x_n}} P_{x_n} \right] \quad (1)$$

em que:

P_Y = precipitação na estação a ser preenchida (mm h^{-1});

n = número de estações usadas para o preenchimento;

N_Y = normal da estação a ser preenchida (mm h^{-1});

P_{X_i} = precipitação nas estações de apoio (mm h^{-1});

N_{X_i} = normal das estações de apoio (mm h^{-1}).

3.5.2. Regressão linear

Para este método as informações da estação com falhas (Y) foram correlacionadas com as informações correspondentes às observações das outras 4 estações (X_1 , X_2 , X_3 e X_4). Um dos critérios usados para a aplicação deste método é a obtenção de um coeficiente de determinação maior que 0,7 e a existência de pelo menos 8 pares de eventos entre as estações usadas na regressão. Serão usados apenas os valores das séries que correspondem a estação com falha e a estação de referência com o melhor coeficiente de determinação.

3.6. Alturas máximas precipitadas em função dos períodos de retorno

Considerando a série preenchida da estação em estudo, foram obtidos os valores de alturas máximas precipitadas com duração de 24 horas para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 e 25 anos utilizando análise de frequência.

Utilizando a análise de frequência para obtenção das alturas máximas precipitadas, determinaram-se os eventos associados aos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 e 25 anos, uma vez que período base analisado consta de 26 anos de observações.

Para determinar dos eventos máximos, os dados de precipitações máximas anuais foram ordenados de forma decrescente e atribuiu-se um número de ordem para cada evento.

Uma vez que o período de retorno é o inverso da frequência, os eventos máximos correspondentes aos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 e 25 anos foram obtidos através da determinação da ordem destes eventos, ou seja, o número de vezes que uma precipitação da mesma altura ocorreu ou foi ultrapassada em “n” anos, utilizando o método de KIMBAL, Equação 3.

$$F = \frac{m}{n+1} \rightarrow T = \frac{n+1}{m} \quad (3)$$

em que:

F = frequência com que um evento de ordem “m” foi igualado ou superado;

T = período de retorno (anos);

m = ordem do evento;

n = número de anos de observação.

3.7. Análises de consistência dos dados pluviométricos mensais e análises da homogeneidade dos dados

As análises de consistência dos dados pluviométricos mensais e análises da homogeneidade dos dados foram feitas no software do HIDRO-PLU.

3.7.1. Análise da consistência de dados no programa HIDRO-PLU

Os dados das estações e do inventário, antes de serem trabalhados no HIDRO-PLU, tiveram que ser importados para o programa Hidro e estes serviram para preencher os dados sob a condição de dados permanentes. Feito isso, os dados do inventário e das estações puderam ser trabalhados no HIDRO-PLU.

3.7.2. Análise da homogeneidade de dados método das duplas massas

A análise de duplas massas é o método utilizado para se verificar a homogeneidade dos dados, isto é, se houve alguma anormalidade na estação pluviométrica, tais como mudança de local ou das condições do aparelho ou modificação no método de observação (Villela e Mattos, 1977). O método das duplas massa foi desenvolvido pelo Geological Survey (USA) e é uma prática comum adotada no Brasil.

Este método consiste em selecionar os postos de uma região (que deve ser considerada homogênea do ponto de vista hidrometeorológico), acumular para cada um deles os valores (mensais ou anuais conforme a análise), plotar em um gráfico cartesiano dos valores acumulados correspondentes ao posto a consistir (eixo ordenado) com os valores médios das precipitações mensais acumuladas em vários pontos da região (eixo das abscissas) que servirá como base para comparação. Se os valores dos postos a consistir forem proporcionais aos observados na base de

comparação, os pontos devem se alinhar segundo uma única reta. A declividade desta reta determina o fator de proporcionalidade entre ambas às séries.

3.8. Determinar a precipitação média para a área de drenagem da bacia do rio forqueta

As medidas da precipitação feitas em um pluviômetro fornecem dados pontuais de uma área qualquer. Frequentemente é necessário obter-se, a partir dos dados de vários pluviômetros, a precipitação média em uma determinada área de interesse, no caso, de uma bacia hidrográfica. Os cálculos da precipitação média são feitos a partir de observações feitas dentro da área de interesse, bem como nas suas redondezas.

Denomina-se precipitação média como sendo uma lâmina de água de altura uniforme sobre toda a área considerada, associada a um dado período de tempo, seja ele o dia mais chuvoso, o ano, o trimestre mais chuvoso ou o trimestre mais seco. Esta precipitação é estimada com base na hipótese de que seja representativa das precipitações ocorridas na área como um todo (Schiavetti e Camargo, 2002). Segundo Sanchez (1986) isso não deixa de ser uma abstração, uma vez que a chuva real obedece a distribuições espaciais e temporais variáveis.

Para a realização dos cálculos da precipitação média foram consideradas estações pluviométricas localizadas dentro e fora da bacia. Acredita-se que assim, os resultados obtidos sejam representativos de toda a bacia, conseguindo espacializar os valores de precipitação para toda a área de drenagem. As variáveis de precipitação consideradas no presente trabalho foram: precipitação total anual e precipitação do semestre mais chuvoso.

Existem diversos métodos para a estimativa da precipitação média dentre os quais se destacam: média aritmética, polígonos de Thiessen e, considerado mais preciso, o método das isoietas. Este método utiliza, ao invés de dados de precipitação oriundos de postos pluviométricos isolados, curvas que unem pontos de igual precipitação, as chamadas isoietas.

A precipitação média sobre uma bacia hidrográfica pode ser calculada ponderando-se a precipitação média entre isoietas sucessivas pela área entre estas, posteriormente totaliza-se este produto e divide-o pela área total (área da bacia), de acordo com a Equação 5.

$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{h_i + h_{i+1}}{2} \right) A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (5)$$

Em que,

\bar{h} - precipitação média na bacia hidrográfica (mm);

$\left(\frac{h_i + h_{i+1}}{2} \right)$ - média entre as isoietas; e

A_i – área entre isoietas (mm).

Para a elaboração dos mapas de isoietas utilizou-se a localização das estações pluviométricas e a delimitação da área de drenagem em estudo. Além destes dados espaciais, obtiveram-se ainda, através do sítio da ANA, os dados pluviométricos para as cinco estações selecionadas, considerando-se como período base os anos de 1953 a 1978.

O primeiro procedimento utilizado na elaboração dos mapas de isoietas foi à associação dos dados de precipitação à tabela de atributos dos *shapes* das estações pluviométricas. Foram incluídas as informações pluviométricas sobre: precipitação total anual e precipitação do semestre mais chuvoso para cada estação.

Dentre os diversos métodos de interpolação disponíveis no aplicativo de SIG, optou-se pela utilização do método do inverso da distância ponderada na quarta potência, que assume que cada ponto mensurado possui uma influência local que diminui com o aumento da distância.

As precipitações referentes aos eventos em estudo foram espacializadas utilizando uma ferramenta de interpolação. O interpolador assume que cada ponto mensurado possui uma influência local que diminui com o aumento da distância.

A partir da superfície de interpolação foram geradas as isoietas para precipitação total anual e precipitação do semestre mais chuvoso, para a área de drenagem em estudo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Série anual das alturas máximas precipitadas com duração de 24 h

A série anual das alturas máximas de precipitação com duração de 24 horas das estações pluviométricas utilizadas neste estudo são mostradas na Tabela 2. Pode-se observar existem poucas falhas nestas estações, onde os anos mais críticos são os de 1971, 1977 e 1978 os quais apresentam falhas em duas estações, limitando o número de estações que serão usadas para o preenchimento dos dados com faltas.

Tabela 2 - Série anual das alturas máximas precipitadas (mm) com duração de 24 horas para as estações pluviométricas utilizadas no estudo

	2952029	2852003	2852017	2852014	2952006
1953	106,0	93,6	90,0	80,2	363,8
1954	138,8	83,0	114,0	101,2	294,7
1955	123,8	104,2	99,0	161,3	213,4
1956	160,0	177,4	168,8	103,2	217,7
1957	89,0	108,9	90,4	88,0	210,5
1958	78,8	71,4	56,0	102,1	290,2

1959	108,6	94,5	111,0	70,0	252,4
1960	64,4	93,4	94,0	69,4	166,9
1961	87,4	97,0	85,4	46,2	352,2
1962	78,2	59,2	58,8	120,2	136,3
1963	97,6	77,4	70,0	55,3	333,4
1964	80,2	51,2	70,2	101,2	182,9
1965	104,8	110,1	83,0	128,4	314,6
1966	88,0	79,8	78,0	86,4	284,2
1967	105,2	96,8	72,7	59,8	379,6
1968	80,6	65,7	68,4	76,2	169,4
1969	-	73,6	93,0	93,2	141,4
1970	89,0	80,3	46,7	135,9	-
1971	56,2	-	108,0	138,8	-
1972	-	110,4	114,3	106,5	236,4
1973	88,2	-	87,0	120,3	261,4
1974	114,0	109,3	105,2	110,6	168,4
1975	102,2	120,1	108,8	87,2	-
1976	72,0	54,8	61,6	126,2	-
1977	-	100,0	125,0	65,4	-
1978	-	52,0	-	91,2	177,8

4.2. Preenchimento de falhas pelo método da ponderação regional

O preenchimento das lacunas existentes nas séries de precipitação máximas foi feito através do método da ponderação regional, Tabela 3.

Tabela 3 - Série anual das alturas máximas precipitadas com duração de 24 horas e falhas preenchidas (sublinhadas) estimadas pelo método de ponderação regional

	2952029	2852003	2852017	2852014	2952006
1953	106,0	93,6	90,0	80,2	363,8
1954	138,8	83,0	114,0	101,2	294,7
1955	123,8	104,2	99,0	161,3	213,4
1956	160,0	177,4	168,8	103,2	217,7
1957	89,0	108,9	90,4	88,0	210,5
1958	78,8	71,4	56,0	102,1	290,2
1959	108,6	94,5	111,0	70,0	252,4
1960	64,4	93,4	94,0	69,4	166,9
1961	87,4	97,0	85,4	46,2	352,2
1962	78,2	59,2	58,8	120,2	136,3
1963	97,6	77,4	70,0	55,3	333,4
1964	80,2	51,2	70,2	101,2	182,9

1965	104,8	110,1	83,0	128,4	314,6
1966	88,0	79,8	78,0	86,4	284,2
1967	105,2	96,8	72,7	59,8	379,6
1968	80,6	65,7	68,4	76,2	169,4
1969	<u>108,2</u>	73,6	93,0	93,2	141,4
1970	89,0	80,3	46,7	135,9	<u>304,9</u>
1971	56,2	<u>96,5</u>	108,0	138,8	<u>262,0</u>
1972	<u>145,6</u>	110,4	114,3	106,5	236,4
1973	88,2	<u>123,8</u>	87,0	120,3	261,4
1974	114,0	109,3	105,2	110,6	168,4
1975	102,2	120,1	108,8	87,2	<u>367,2</u>
1976	72,0	54,8	61,6	126,2	<u>272,6</u>
1977	<u>101,2</u>	100,0	125,0	65,4	<u>258,3</u>
1978	<u>71,7</u>	52,0	<u>68,3</u>	91,2	177,8

A aplicação deste método consistiu em usar apenas os valores de precipitação observados nas estações de medição, para os anos que apresentavam duas estações com falhas, esses valores estimados não foram utilizados para o preenchimento das demais falhas.

4.2.1. Regressão Linear Simples

A análise de regressão entre as estações foram feitas com base para se estimar os valores de precipitação ausentes na estação 02952029, estação base que está localizada dentro da bacia hidrográfica, em função das demais estações que estão próximas, estações de apoio. As correlações encontradas entre as estações de apoio e a estação base podem ser observadas na Figura 4, bem como suas respectivas equações de regressão.

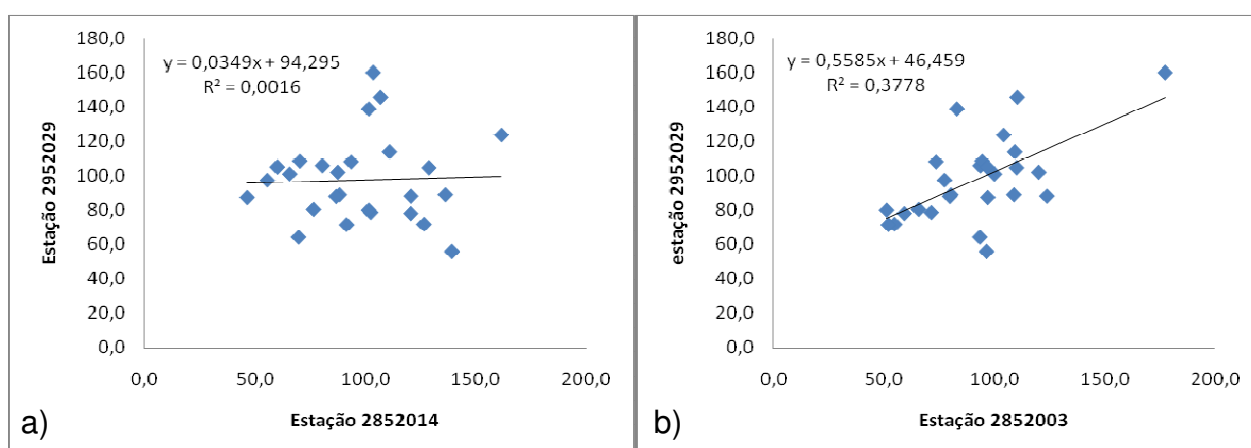


Figura 4 - Regressão linear para se estimar a precipitação na estação 02952029. A – 02852014 *versus* 02952029; B – 02852003 *versus* 02952029.

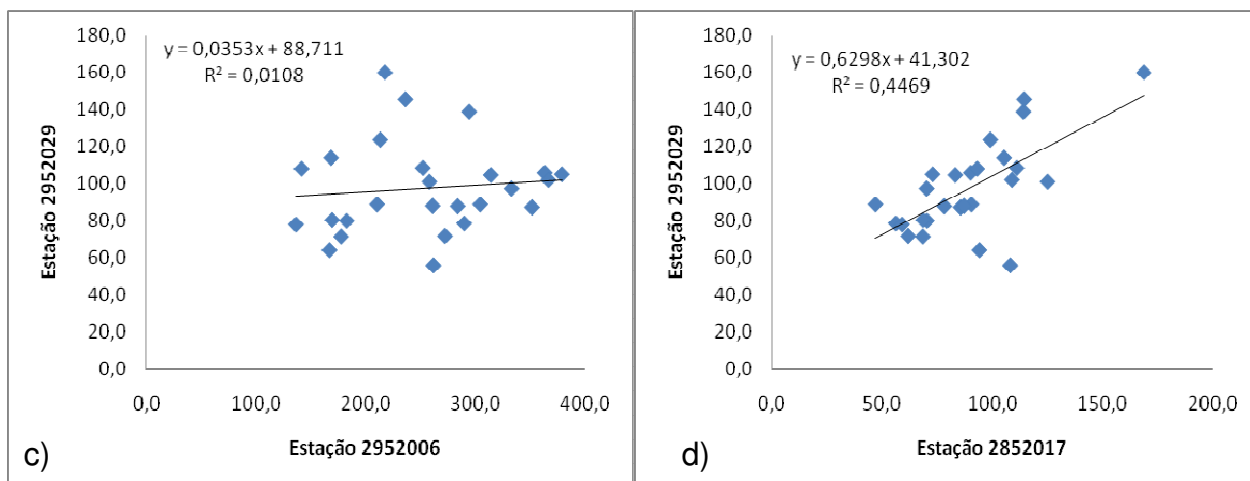


Figura 4 - Regressão linear para se estimar a precipitação na estação 02952029. C – 02952006 *versus* 02952029 e D – 02852017 *versus* 02952029.

A regressão entre as estações mostrou que existe baixa correlação entre a precipitação das estações em estudo, o que pode evidenciar que as estações utilizadas não estão em uma região climatologicamente homogênea ou sofre a influência de alguns fatores externos como a altitude entre as estações.

A melhor correlação observada foi entre as estações 02852017 e 02952029, Figura 4b. Na Tabela 4 pode se observar as precipitações estimadas para a estação base em função da regressão da equação demonstradas na Figura 4b.

Tabela 4 - Alturas máximas precipitadas com duração de 24 horas estimadas no preenchimento de falhas da estação 02952029 por regressão linear simples.

Ano	Precipitação Estimada (mm)
1969	99,9
1972	113,3
1977	120,0
1978	84,3

4.3. Máximas precipitadas para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos

Com a utilização do método de KIMBAL, obteve-se, utilizando a análise de frequência as alturas máximas precipitadas diárias correspondentes aos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 e 25 anos.

Na Tabela 5 estão apresentados os dados de precipitação máxima anual, ordenados de forma decrescente e na Tabela 6 estão apresentados os resultados de altura máxima precipitada para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 e 25 anos, utilizando-se a análise de frequência.

Tabela 5 - Precipitações máximas anuais ordenadas de forma decrescente

Ordens dos Eventos	Precipitação Máxima
“m”	(mm)
1	160,0
2	145,6
3	138,8
4	123,8
5	114,0
6	108,6
7	108,2
8	106,0
9	105,2
10	104,8
11	102,2
12	101,2
13	97,6
14	89,0
15	89,0
16	88,2
17	88,0
18	87,4
19	80,6
20	80,2
21	78,8
22	78,2
23	72,0
24	71,7
25	64,4
26	56,2

Tabela 6 - Altura máxima precipitada associada os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 e 25 anos

Período de Retorno (anos)	Ordem do evento	Precipitação máxima (mm)
2	13,50	93,30
5	5,40	111,84
10	2,70	140,84
20	1,35	154,96
25	1,08	158,85

4.4. Análise da consistência de dados no programa HIDRO-PLU

Na Figura 5 estão apresentados os dados referentes às estações de apoio em função da estação a ser analisada. Em destaque estão apresentadas as estações selecionadas para análise de consistência dos dados da estação em estudo. A escolha das estações geralmente é feita com base nos maiores coeficientes de correlação, da proximidade e da altitude.

Nesse trabalho o que mais se levou em consideração foi o coeficiente de correlação, pois normalmente se adota como critério mínimo a obtenção de coeficiente de correlação “r” maior ou igual a 0,84 (ou coeficiente de determinação “r²” igual ou superior a 0,7). Sendo assim, as duas únicas estações que atendem essa exigência são as estações 02952006 e a 02852003.

<u>Código</u>	<u>Nome</u>	<u>Máximo</u>	<u>Média</u>	<u>NDC</u>	<u>Desv. P</u>	<u>Correlação</u>
02952006	MARQUES DE SOUSA	379,6	128,70	2809	71,00	0,89
02852003	ARVOREZINHA	424,6	143,20	3364	82,60	0,84
02852017	MAURÍCIO CARDOSO	425,8	143,80	3251	80,90	0,81
02852014	ILÓPOLIS	463,6	145,20	2636	86,70	0,81

<u>Código</u>	<u>SB</u>	<u>Altitude</u>	<u>Latitude</u>	<u>Longitud</u>	<u>Distânci</u>	<u>Data Inicial</u>	<u>Data Final</u>	<u>Entidad</u>	<u>No.</u>
02952006	86	45	-29,3167	-52,0833	19,1	01/01/1948	01/12/1978	DEPRC	290
02852003	86	731	-28,8667	-52,1833	33,4	01/01/1948	01/12/1978	DEPRC	297
02852017	86	765	-28,7833	-52,1667	42,6	01/01/1952	01/12/1978	DEPRC	300
02852014	86	650	-28,9167	-52,1167	28,3	01/01/1944	01/12/1982	CEEE	301

Figura 5 - Relatório gerado (adaptado) com os dados referentes às estações de apoio em função da estação a ser analisada, em destaque as estações que foram utilizadas para a análise de consistência.

Os testes de consistência podem ser feitos com base em médias de longo período, médias mensais ou médias anuais. Utilizando-se a média de longo período a crítica é feita comparando-se os dados de todos os meses das séries referentes à estação em análise e a cada estação de apoio. Portanto, quando se está criticando, por exemplo, o mês de março de 1962, o programa compara os dados de janeiro a dezembro de todos os anos selecionados na escolha do período de estudo. Quando se usa as médias mensais, o programa faz a crítica comparando todos os anos selecionados, porém, utiliza somente os dados do mês que está sendo criticado. Sendo assim, para o exemplo

anterior, o programa iria comparar somente os dados de todos os meses de janeiro de todos os anos selecionados na escolha do período de estudo.

No presente trabalho foram utilizadas as médias mensais de longo período. Procurou-se também fazer a análise pelas médias mensais, mas houve inconsistência nos dados das séries das estações de apoio, não permitindo a análise.

Na Figura 6 está apresentado o mapa com a localização das estações de apoio e a estação em estudo. A estação em estudo está representada por um triângulo e as estações de apoio por pontos. As estações que apresentaram maiores coeficientes de correlação foram as que se encontram acima e abaixo da estação em estudo.

Depois de escolhidas às estações de apoio para análise de consistência e, nesse caso, segue-se a sugestão do programa com apenas as duas de melhores coeficientes de correlação, bem como o tipo de média a ser considerada, o programa efetuou os cálculos. Na Figura 7 estão apresentados os valores consistidos pelo programa. Os valores apresentados em negrito são aqueles sugeridos pelo programa em sua análise de consistência.

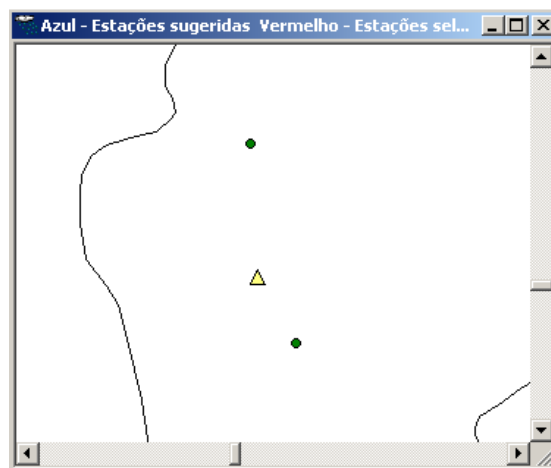


Figura 6 - Mapa de localização das estações de apoio (pontos) e em estudo (triângulo)

Resultados das correções. Estação em análise: 02952029 - POUZO NOVO											
Correções Sugeridas Dados Estatísticos Dados Diários Gráfico dos Dados Diários Curvas Duplo-Acumulativas Histogramas Índice Pluviométrico C...											
Mês	Ano	Bruto	1a. Cor.	2a. Cor.	02952029	02952003					
1	1953	100,5	100,5	100,5	81,3	203,1					
2	1953	76,3	76,3	76,3	78,9	183,7					
3	1953	163,5	163,5	163,5	126,5	194,6					
4	1953	100,9	100,9	100,9	112	76,2					
5	1953	123,2	123,2	123,2	119,2	147,2					
6	1953	201,3	201,3	201,3	198,3	165,2					
7	1953	95,9	95,9	95,9	89,6	113,8					
8	1953	133,6	133,6	133,6	121,2	118,8					
9	1953	327,9	327,9	327,9	329	336,6					
10	1953	375	375	375	363,9	322,1					
11	1953	59,7	59,7	59,7	52,9	45,3					
12	1953	102,4	49,2	49,2	33,6	61,2					
1	1954	346,9	346,9	346,9	189	299,7					
2	1954	196,6	196,6	196,6	150,9	194,7					
3	1954	84,1	84,1	84,1	125,2	91,2					
4	1954	85,1	85,1	102,5	54,5	146,1					
5	1954	120,9	66	66	64,2	57,9					
6	1954	388,1	388,1	388,1	255,1	349,3					
7	1954	299,6	299,6	299,6	240,6	153,2					
8	1954	133,4	133,4	133,4	144,2	70,2					
9	1954	404,4	404,4	404,4	294,7	375,5					
10	1954	213,2	213,2	213,2	175,5	275,7					
11	1954	35,5	35,5	35,5	30,4	14,5					
12	1954	172,8	172,8	172,8	145,4	200,1					
1	1955	157,8	157,8	157,8	140,9	103,8					
2	1955	171	171	171	124,5	205,2					
3	1955	154,2	154,2	154,2	201,5	129,3					
4	1955	175,4	175,4	175,4	213,4	184					
5	1955	176,9	176,9	176,9	158,7	231,1					

Figura 7 - Tela com os valores consistidos e sugeridos pelo programa (negrito)

A aceitação ou não dos valores sugeridos pelo programa depende muito da experiência do analista, bem como de seu conhecimento da área em estudo. Conforme pode ser visto na Figura 7, em alguns casos, os valores sugeridos para os dados da estação em estudo são quase a metade dos valores observados para essa estação.

Os valores discrepantes entre as estações de apoio e a estação em estudo podem denotar a presença de efeito orográfico e ou a existência de chuvas regionalizadas, fato este somente comprovado mediante o conhecimento da área e a experiência do analista.

Na Figura 8 estão apresentados os valores, de precipitação, totais máximos mensais (Máxima) e as médias dos totais mensais (Média), os valores de correlação brutos e ajustados (RxS0, RxS1 e RxS2), bem como os parâmetros F's utilizados na determinação dos intervalos de aceitação da primeira (F1 e F3) e da segunda crítica (F2 e F4).

HIDRO-PLU					Dados Estatísticos			SIH/ANEEL			
Estação Analisada: 02952029 - POUSO NOVO											
Estação	Máxima	Média	NDC	Dsv. Pd.	Tipo de Processamento: Mensal -> Média de Longo Período						
02952029	439.4	145.1	3044	77.9	Período Estudo: 01/1953 a 12/1978						
1a Correção	439.4	144.1	-	78.3	G1: 1.3 G2: 1.2 G5: 0.5						
2a Correção	439.4	144.2	-	79.2	RxS0	RxS1	RxS2	F1 <=	F3	F2 <=	F4
02952003	424.6	143.2	3364	82.6	0.84	0.88	0.9	0.65	1.56	0.74	1.37
02952006	379.6	128.7	2809	71.0	0.89	0.92	0.93	0.78	1.65	0.87	1.47
02952029	439.4	145.1	3044	77.9							
1a Correção	439.4	144.1		78.3							
2a Correção	439.4	144.2		79.2							
Relatório de Identificação das Estações											
Análise: POUSO NOVO				Código: 02952029				Latitude: -29.1667 Longitude: -52.1667			
Local...:POUSO NOVO				Altitude: 490 SB: 86				Dados: 01/1953 a 12/1978			
Apoios	Nome da Estação			SB	Distância	Altitude	Latitude	Longitude	Entidade	Dados	
2852003	ARVOREZINHA			86	33.40	731	-28.8667	-52.1833	DEPRC	01/1948 a 12/1978	
2952006	MARQUES DE SOUSA			86	19.10	45	-29.3167	-52.0833	DEPRC	01/1948 a 12/1978	
Período de estudo: 01/1953 a 12/1978						Tipo de dado: Chuvas Mensais					

Figura 8 - Coeficientes de correlação antes e depois da análise de consistência e valores de F1, F2, F3 e F4 para cálculo dos intervalos de confiança.

O programa obtém o intervalo de aceitação (F's) para cada estação de apoio previamente selecionada para a realização da crítica. A alteração do dado analisado só deve ser proposta caso o valor seja reprovado em todos os testes das séries de apoio. Se um teste de uma determinada estação de apoio aprovar o dado, ou seja, se o valor precipitado do total mensal (ou anual) que está sendo criticado ficar dentro do intervalo de aceitação obtido pelo programa, a alteração não é proposta. Em função disto, caso se utilize um número muito elevado de estações de apoio na crítica, o rigor da análise passa a ser pequeno (ANA *et al.*, s.d.).

Na Tabela 7 estão apresentados os valores de G_1 e G_2 , que são parâmetros de calibragem sugeridos pelo programa, em função da região onde está localizada a estação em análise.

Tabela 7. Valores sugeridos para G_1 e G_2 para as diferentes regiões do Brasil

Região	Valores sugeridos de G_1 e G_2
Amazônica até o paralelo 10° S	1,1 a 1,2
Amazônica abaixo do paralelo 10° S	1,2 a 1,3
Norte/Nordeste (exceto Amazonas)	1,3 a 1,5
Centro-oeste	1,2 a 1,4
Sul	1,1 a 1,3

Fonte: ANA *et al.* (s.d.)

Os parâmetros de calibração G_1 , G_2 e G_5 são parâmetros estatísticos que permitem a calibração do modelo e têm influência direta na averiguação da qualidade dos dados. Para a execução do programa é necessário que se indique os valores dos parâmetros G_1 e G_2 , que correspondem aos parâmetros de calibragem para homogeneização de dados em primeira e segunda crítica, respectivamente. Estes parâmetros variam entre os valores 1,0 e 2,0.

O valor de G_5 , parâmetro de calibragem correspondente à variação proporcional entre o valor de dados testado e o da sua aceitabilidade, também pode ser indicado. Este parâmetro varia entre os valores de 0,0 a 1,0, mas não é obrigatório, podendo ser utilizado ou não.

Devido à complexidade desses parâmetros optou-se por adotar os valores sugeridos pelo programa. Na Figura 9 estão apresentadas as curvas duplo-acumulativas dos dados brutos e consistidos da estação em análise (02952029).

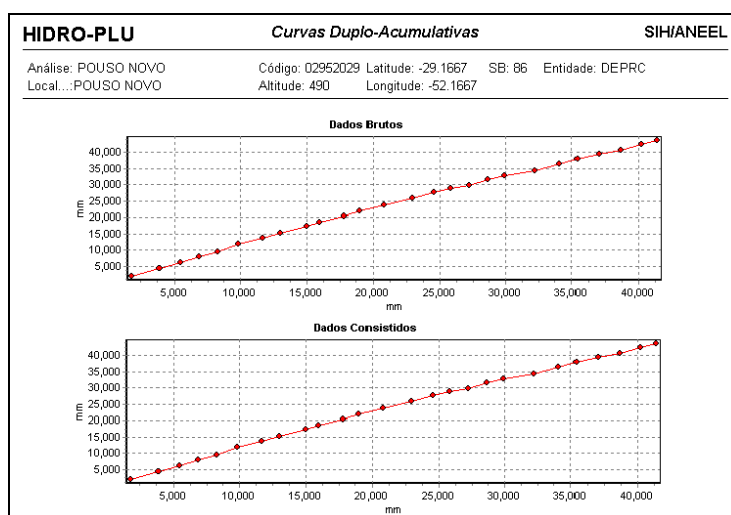


Figura 9 - Curvas duplo-acumulativas dos dados brutos e consistidos.

Conforme pode ser observado na Figura 9, considerando a curvas duplo-acumulativas dos dados brutos e consistidos, a distorção foi quase imperceptível. Isto nos leva a concluir que, apesar de grandes distorções obtidas entre os dados consistidos e “brutos” para alguns meses, de alguns anos da série histórica da estação estudada, isto não acarretou grandes distorções em termos da série

anual. Pode-se pressupor que a estação em questão não sofreu mudanças bruscas que viessem a afetar seu regime de operação durante o período analisado.

4.5. Determinação da precipitação média para a área de drenagem da bacia do rio Forqueta

4.5.1. Polígono de Thiessen

A precipitação média foi calculada pelo método de Thiessen para as seguintes variáveis: precipitação total anual e precipitação do semestre mais chuvoso. Na Figura 10 estão apresentados os polígonos gerados.

Na Tabela 8 estão os dados de precipitação total anual e de precipitação do semestre mais chuvoso de cada estação e a área de influência de cada uma delas na bacia.

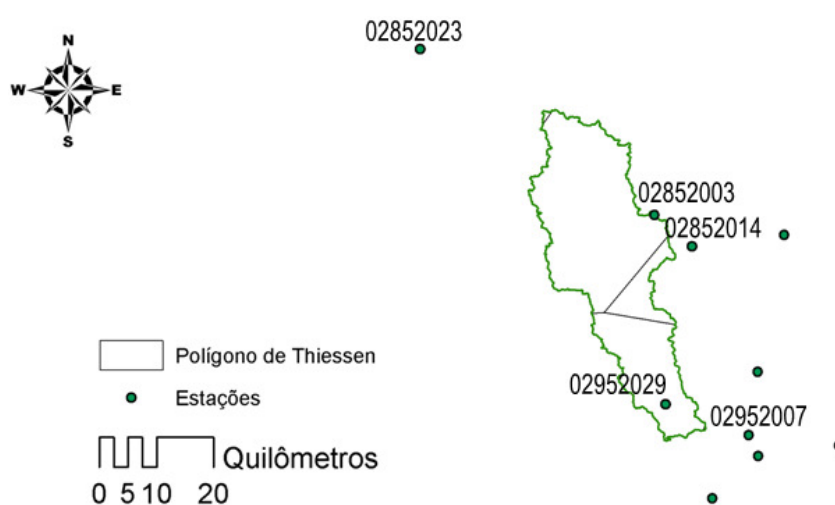


Figura 10 - Polígono de Thiessen, estações utilizadas para sua demarcação e estações numeradas que foram utilizadas para os cálculos.

Tabela 8 - Dados utilizados na determinação da precipitação média utilizando o Polígono de Thiessen.

Estação	Total anual (mm)	Semestre mais chuvoso (mm)	Área de influência (km²)
02852003	1715.8	845.8	505.50
02852023	1734.1	916.5	1.71
02952007	1438.9	638.8	0.18
02952029	1689.8	864.7	216.84
02852014	1742.2	873.1	66.85

Obteve-se com os procedimentos citados anteriormente e com os passos descritos na metodologia, as precipitações médias do Total Anual e do Semestre mais chuvoso da Bacia do Rio Forqueta, os resultados podem ser visualizados na Tabela 9.

Tabela 9 - Resultados da precipitação média na bacia em estudo utilizando o Polígono de Thiessen.

Precipitações	Precipitação média (mm)
Total Anual	1710.88
Semestre mais chuvoso	853.39

4.5.2. Método das Isoietas

Com base na metodologia proposta, utilizando-se o aplicativo de SIG, geraram-se as isoietas de precipitação total anual.

Nas Figuras 11 e 12 podem ser observadas, respectivamente, as isoietas obtidas para a precipitação total anual e do semestre mais chuvoso.

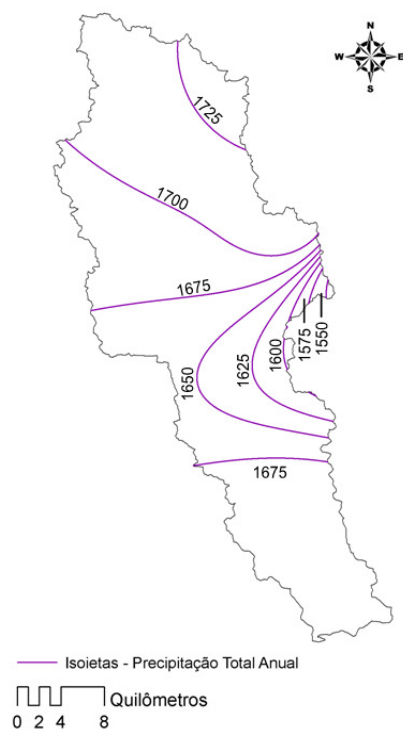


Figura 11 - Isoietas de precipitação total anual para a Bacia do Rio Forqueta.

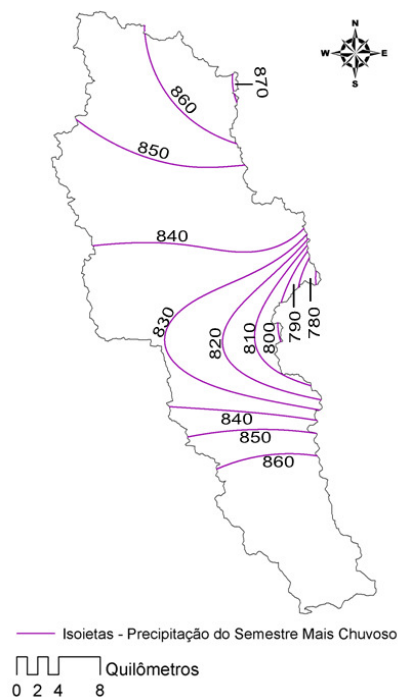


Figura 12 - Isoietas de precipitação do semestre mais chuvoso para a Bacia do Rio Forqueta.

Na Tabela 10 podem-se visualizar os dados médios, de precipitação total anual e de precipitação total do semestre mais chuvoso, encontrados para a bacia do Rio Forqueta.

Tabela 10 - Resultados da precipitação média na bacia em estudo utilizando o método das Isoietas.

Precipitações	Precipitação média (mm)
Total Anual	1683,95
Semestre mais chuvoso	845,25

5. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho foi possível chegar às seguintes conclusões:

- Para a realização dos estudos de precipitação em uma bacia hidrográfica é fundamental possuir dados e, além de possuir os dados, é de extrema importância conseguir dados que apresentem boas correlações com a estação a ser analisada. Como verificado neste trabalho, isto não é tão simples, uma vez que, grande parte das estações próximas não puderam ser utilizada durante o estudo;
- Apesar da distribuição de Gumbel, segundo a literatura, ser a que melhor se ajusta para eventos máximos, neste estudo a distribuição estatística Pearson 3 foi a que melhor se ajustou;
- O método de Thiessen apresentou bons resultados, semelhantes aos do método das isoietas, porém, dentre as estações utilizadas, apenas 3 aparentemente tiveram áreas significativas de influência.
- O método das Isoietas foi o que apresentou melhores resultados, uma vez que este método leva em consideração as características de relevo, além de ter utilizado os dados das 5 estações na interpolação.
- A utilização de um aplicativo de SIG proporcionou boas condições tanto para a seleção das estações pluviométricas, no que se refere a distribuição espacial das mesmas bem como na determinação da precipitação média na bacia utilizando o método das Isoietas.

6. REFERÊNCIAS

- ANA – Agência Nacional de Águas; ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica; UFV – Universidade Federal de Viçosa; FUNARBE – Fundação Arthur Bernardes. *HIDRO-PLU – Programa de Homogeneização de Dados Pluviométricos*. Viçosa, MG: GPRH/UFV, s.d., 38 p.
- ALVES, M. C.; BOTELHO, S. A.; PINTO, L. V. A.; POZZA, E. A.; OLIVEIRA, M. S.; FERREIRA, E.; ANDRADE, H. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.12, n.5, p.527–535, 2008.
- COULIBALY; P., EVORA; N. D. Comparison of neural network methods for infilling missing daily weather records. *Journal of Hydrology*, Volume 341, Issues 1-2, 20 July, Pages 27-41. 2007.
- DJURABEKOVA; F.G., DOMINGOS; R., CERCHIARA G., CASTIN; N., VINCENT; E., MALERBA; L. Artificial intelligence applied to atomistic kinetic Monte Carlo simulations in Fe–Cu alloys. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, Volume 255, Issue 1, February, Pages 8-12. 2007.

SANCHEZ, J. E. Fundamentos de Hidrologia. 1986 In: TUCCI. C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: Ed da Universidade/ ABRH/EDUSP, 1997, , p. 573-619.

SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. *Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações*. Ilhéus-Ba: Editus. 2002, 289 p.;

TEEGAVARAPU, R. S. V. e CHANDRAMOULI V. Improved weighting methods, deterministic and stochastic data-driven models for estimation of missing precipitation records. *Journal of Hydrology*, Volume 312, June, Pages 191–206. 2005.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. *Hidrologia Aplicada*. São Paulo: McGraaw Hill do Brasil, 1977. 245p.