

Avaliação da Consistência de Séries Históricas de Chuva da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, em Minas Gerais

Evaluation of Consistency of Rain Time Series of Watershed River Araguari in Minas Gerais

Evaluación de la Consistencia de Serie Temporal de Lluvia de la Cuenca del Río Araguari en Minas Gerais

Hudson de Paula Carvalho

Professor Doutor, UFU, Brasil.
hudsonpc@iciag.ufu.br

Marcos Vinícius dos Santos Ruiz

Graduando em Engenharia Ambiental, UFU, Brasil.
marcosviniruiz@hotmail.com

RESUMO

A gestão dos recursos hídricos por parte dos usuários e governos se torna cada vez mais necessária, frente ao aumento da demanda pela água e redução da disponibilidade hídrica. A quantificação da chuva é de grande importância, pois é a principal via de entrada de água em uma bacia hidrográfica, influenciando diretamente nos estudos hidrológicos. Ao obter dados pluviométricos, falhas nos mesmos são frequentes, limitando os estudos e previsões hidrológicas, necessitando de metodologias adequadas no preenchimento das mesmas. Uma das metodologias para o preenchimento de falhas é o método da Regressão Linear e para análise de consistência de dados, o método da Dupla Massa. Métodos esses, utilizados e descritos no presente trabalho. O trabalho visa analisar a série de dados das estações pluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, em Minas Gerais, quanto a sua consistência, particularmente em relação à presença de falhas. Todas as estações analisadas apresentaram falhas, as quais foram cobertas por equações de regressão desenvolvidas neste estudo. Pode-se concluir que a maioria das séries históricas de chuva disponibilizados pelo sistema *HidroWeb* apresentam falhas, seja técnicas ou mecânicas. As séries históricas com falhas preenchidas apresentaram boa consistência e homogeneidade de acordo com o método da Dupla Massa e pela verificação do método de Grubbs & Beck, concluindo que o método da Regressão Linear é de grande valia e precisão na cobertura de dados anuais de precipitação.

PALAVRAS-CHAVE: Estações pluviométricas. Preenchimento de falhas. Dupla Massa.

ABSTRACT

The management of hydric resources by its users and government become even more necessary, due to water demand increment and hydric availability reduction. The rain quantification is of great importance, because it is the main water entering way in a watershed, influencing directly the hydrological studies. When obtaining rainfall data, failures in it are frequently, limiting the studies and hydrological predictions, needing appropriate methodologies in fulfilling the same. One of fulfill failures methodologies is the Linear Regression and for data consistency analysis is the Dual Mass method. Methods these, used and described in this article. The article aims to analyze the pluviometric stations data series located in the Araguari River's Watershed, in Minas Gerais, as its consistency, particularly in relation to presence of failures. All analyzed stations presented failures, wich were covered by regression equations developed in this study. Can deduce that the most Hidroweb system's historical rainfall series available exhibit failures, technical or mechanical. According the Dual Mass method and Grubbs & Beck method verification, the historical series with filled failures presented good consistency and homogeneity. Therefore, the Linear Regression method is valid and precise to annual rainfall data coverage.

KEY-WORDS: Rainfall Stations. Fulfilling of failures. Dual Mass.

RESUMEN

La gestión de los recursos hídricos por los usuarios y los gobiernos son cada vez más necesaria, debido al aumento de la demanda y reducción de la disponibilidad de agua. La cuantificación de la lluvia es de gran importancia, ya que es la principal vía de entrada de agua en una cuenca hidrográfica, influyendo directamente en los estudios hidrológicos. Cuando obtenemos datos de precipitación, defectos en ellas son frecuentes, lo que limita los estudios y predicciones hidrológicas, necesitando metodologías apropiadas en el llenado de ellos. Uno de los métodos para relleno de espacios es el método de Regresión Lineal y el análisis de consistencia de los datos, el método de Doble Masa. Métodos de los que se utilizan y se describe en este trabajo. El trabajo tiene como objetivo analizar las series de datos de estaciones pluviométricas ubicadas en la Cuenca del Río Araguari, Minas Gerais, em relación a su consistencia, particularmente con la presencia de fallos. Todas las estaciones analizadas mostraron defectos que fueron corregidos por las ecuaciones de regresión desarrollados en este estudio. Se puede concluir que la mayoría de las series pluviométricas disponibles por el sistema *Hidroweb* son defectuosos, ya sea técnica o mecánica. La serie histórica con defectos rellenos mostró una buena consistencia y homogeneidad de acuerdo con el método de Doble Masa y comprobación del método de Grubbs & Beck, llegando a la conclusión de que el método de Regresión Lineal es la cobertura valiosa y precisa de los datos de precipitación anual.

PALABRAS CLAVE: Estaciones pluviométricas. Relleno de espacios. Doble Masa.

1 INTRODUÇÃO

A crescente escassez hídrica tem exigido uma melhor gestão dos recursos hídricos por parte dos usuários e governos, no quesito de garantir este bem natural fundamental à vida. Nesse contexto, a quantificação da chuva é de grande importância, pois é a principal via de entrada de água em uma bacia hidrográfica, e influencia diretamente os estudos hidrológicos, os quais, por sua vez, afetam o abastecimento público, a gestão da irrigação, os projetos de drenagem urbana e de estruturas hidráulicas. Contudo, para que tais estudos atinjam seus objetivos, é preciso verificar a consistência dos dados pluviométricos.

Porém ao obter os dados, várias falhas podem ocorrer, limitando os estudos e previsões hidrológicas, sendo necessário utilizar-se de metodologias adequadas para o preenchimento das referidas falhas. Uma das metodologias mais utilizadas no preenchimento de falhas em dados de chuva é o método da Regressão Linear descrito por (Bertoni e Tucci, 2013) e por (Mello e Silva, 2013), e utilizada em vários trabalhos como descrito em Oliveira et al. (2008).

Entretanto, uma série de dados de chuva sem falhas não significa que os valores ali compilados são confiáveis. Para se ter confiabilidade nos dados da série histórica é necessário averiguar a consistência dos mesmos. Um dos métodos mais utilizados para isso é o método da Dupla Massa descrito em (Mello e Silva (2013) e por Bertoni e Tucci (2013), e citado em publicações, como exemplo Endo et. al. (2007) e Oliveira et al. (2008)).

O presente trabalho visa a análise e preenchimento de falhas de dados de estações pluviométricas contidas dentro da bacia hidrográfica do rio Araguari situada em Minas Gerais, mais especificamente na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. Para determinada análise utilizou-se as estações pluviométrica com dados disponibilizados pela Agência Nacional das Águas (ANA) no sistema eletrônico HidroWeb. Foram utilizadas as estações que continham no mínimo 39 anos de dados (entre 1975 e 2013).

Trabalhos dessa natureza são de suma importância para projetos que requisitam de séries históricas extensas e sem falhas nos dados, garantindo uma maior confiança e precisão nos resultados dos projetos. Também é útil nos processos de outorga, e na gestão da bacia a ser realizada pelos comitês de Bacia Hidrográfica da região.

2 OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é analisar a série de dados em dezenove estações pluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, em Minas Gerais, quanto a sua consistência, particularmente em relação à presença de falhas. Caso existam, estimar equações de regressão para cobrir essas lacunas e por fim, verificar a homogeneidade da série de dados, a fim de obter uma série hidrológica de precipitação apta a ser explorada em projetos de gestão dos recursos hídricos na referida bacia hidrográfica.

3 METODOLOGIA

A bacia hidrográfica do Rio Araguari localiza-se na mesorregião Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, na porção oeste do Estado de Minas Gerais, ocupando uma área aproximada de 22.095 km², abrangendo parte de 20 municípios (Araguari, Araxá, Campos Altos, Ibiá, Indianópolis, Iraí de Minas, Nova Ponte, Patrocínio, Pedrinópolis, Perdizes, Pratinha, Rio Paranaíba, Sacramento, Santa Juliana, São Roque de Minas, Serra do Salitre, Tapira, Tupaciguara, Uberaba e Uberlândia). O Rio Araguari é um afluente da margem esquerda do Rio Paranaíba o qual é um dos principais rios da Bacia Hidrográfica do Paraná (BRITO; ROSA, 2013). Para a realização do estudo foram utilizados dados anuais de chuva de 19 estações pluviométricas, obtidos no banco de dados *Hidroweb – Sistema de Informações Hidrológicas* (ANA, 2015), localizadas dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari (Quadro 1 e Figura 1). O período considerado neste trabalho abrangeu 39 anos, precisamente entre 1975 e 2013.

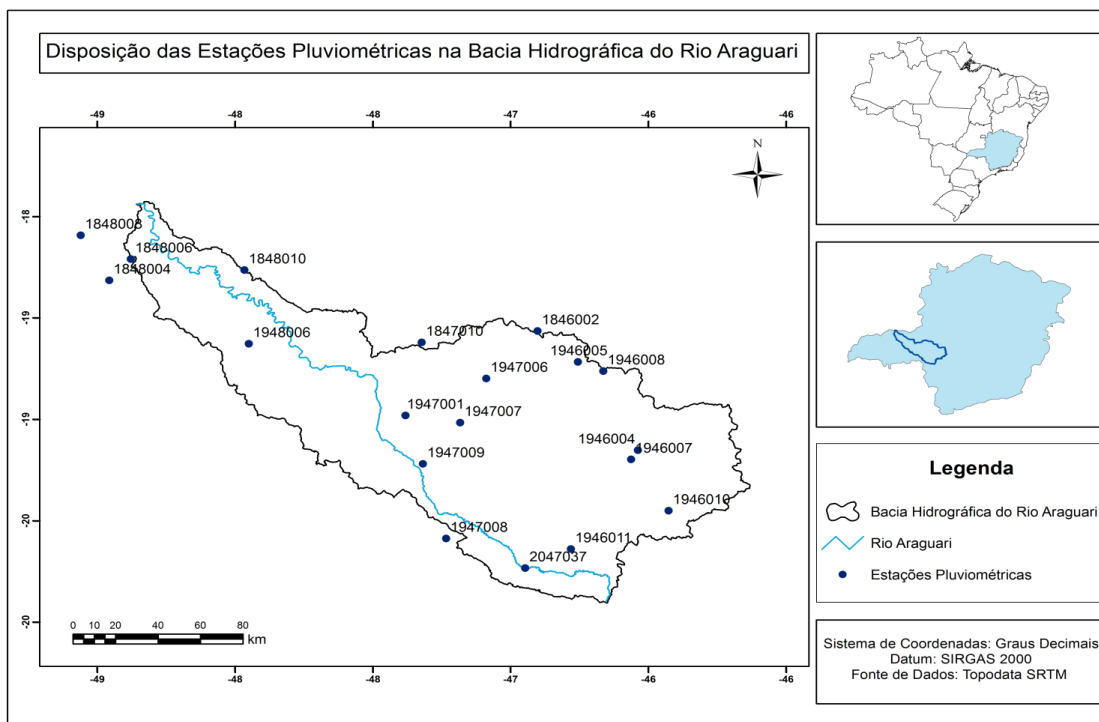
Quadro 1: Relação dos postos pluviométricos estudados neste trabalho, com respectivo código ANA, nome, município de localização e operadora responsável

Código	Nome	Município	Responsável	Operadora
1846002	Charqueada do Patrocínio	Patrocínio	ANA	CPRM
1847010	Iraí de Minas	Iraí de Minas	ANA	CPRM
1848004	Fazenda Cachoeira	Tupaciguara	ANA	CPRM
1848006	Tupaciguara	Tupaciguara	ANA	CPRM
1848008	Brilhante	Tupaciguara	ANA	CPRM
1848010	Araguari	Araguari	ANA	CPRM
1946004	Ibiá	Ibiá	ANA	CPRM
1946005	Salitre	Patrocínio	ANA	CPRM
1946007	Fazenda São Mateus	Ibiá	ANA	CPRM
1946008	Serra do Salitre	Serra do Salitre	ANA	CPRM
1946010	Pratinha	Pratinha	ANA	CPRM
1946011	Tapira	Tapira	ANA	CPRM
1947001	Santa Juliana	Santa Juliana	ANA	CPRM
1947006	Ponte João Cândido	Patrocínio	ANA	CPRM
1947007	Perdizes	Perdizes	ANA	CPRM
1947008	Lagoa	Sacramento	ANA	CPRM
1947009	Zelândia	Santa Juliana	ANA	CPRM
1948006	Fazenda Letreiro	Uberlândia	ANA	CPRM
2047037	Desemboque	Sacramento	ANA	CPRM

ANA - Agência Nacional das Águas CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Naturais

Fonte: ANA, 2015.

Figura 1: Disposição das Estações Pluviométricas na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, em Minas Gerais, consideradas neste trabalho



Fonte: AUTORES, 2016.

Para análise das séries de dados de precipitação utilizou-se o método da Dupla Massa, descrito por Mello e Silva (2013) e por Bertoni e Tucci (2013), no intuito de avaliar a homogeneidade das estações investigadas. De acordo com Bertoni e Tucci (2013) o uso do método Dupla Massa é muito comum no Brasil, considerando sua validade para séries mensais e anuais. O mesmo visa analisar a consistência dos dados em abrangência regional, seja para dados brutos ou após o preenchimento da série. Em suma, visa comprovar o grau de homogeneidade dos dados disponíveis em uma estação com relação às observações registradas em estações vizinhas.

Neste método seleciona-se a estação de interesse e as mais próximas, com a intenção de avaliar a consistência dos dados totais anuais acumulados. Esses dados são plotados em um gráfico nas ordenadas e os totais médios anuais das demais estações nas abscissas. Para que haja consistência dos totais anuais da estação analisada deve haver uma tendência linear em relação às estações vizinhas (OLIVEIRA et al., 2008). Se houver alteração significativa, afirma-se que os dados não foram corretamente medidos ou são hidrológicamente diferentes (MELLO; SILVA, 2013).

Quando há inconsistência nos dados, Bertoni e Tucci (2013) propõe a metodologia de correção de acordo com a equação (1).

$$P_c = P_a + \frac{M_a}{M_o} \cdot (P_o - P_a) \quad (1)$$

Onde:

P_c é a precipitação acumulada ajustada à tendência desejada (mm), P_a é o valor da ordenada correspondente à interseção das duas tendências (mm), M_a o coeficiente angular da tendência desejada (adimensional), M_o o coeficiente angular da tendência a ser corrigida (adimensional), e P_o o valor acumulado a ser corrigido (mm).

Feita a análise dos dados e verificada a homogeneidade das estações pluviométricas, estimou-se as equações matemáticas para cobrir as falhas anuais das estações utilizando o Método da Regressão Linear Simples ou Múltipla, descrito por Mello e Silva (2013) e em Bertoni e Tucci (2013). Estes últimos autores, afirmam ser esse o método mais aprimorado para o preenchimento de falhas, tanto para regressões simples quanto para regressões múltiplas.

De acordo com Mello e Silva (2013) o referido método consiste em aplicar a regressão linear simples ou múltipla conhecendo os dados de estações vizinhas, a fim correlacionar com o posto em análise. Na regressão linear simples, os dados da estação com falha são correlacionados com uma estação vizinha sem falha através da equação (2).

$$Y=a+bX \quad (2)$$

Onde:

Y são os dados da estação que se deseja preencher a falha e X os dados da estação vizinha sem falha.

Na regressão múltipla as informações pluviométricas da estação Y são correlacionadas com as correspondentes observações de várias estações vizinhas, conforme equação (3).

$$Y=a_0+a_1.X_1+a_2.X_2+...+a_n.X_n \quad (3)$$

Onde:

n é o número de estações; a_1, a_2, \dots, a_n os coeficientes de interesse na regressão; X_1, X_2, \dots, X_n são as observações registradas nas estações vizinhas. Outra alternativa pode ser uma relação do tipo potencial, conforme equação (4).

$$Y=a_0.X_1^{a_1}.X_2^{a_2}.X_3^{a_3}. \dots.X_n^{a_n} \quad (4)$$

No presente trabalho as equações de preenchimento de falhas foram geradas por meio do software *SigmaPlot*® 12.0. Além de gerar as equações, este aplicativo computacional testa os parâmetros do modelo, por meio do teste t, avalia a significância da regressão pelo teste F e a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk. Neste trabalho o nível de significância foi estipulado em 1%, 5% e 10%.

Após cobertas as falhas, nova análise a partir do método Dupla Massa foi realizada para avaliar a consistência da nova série histórica, agora com todos os dados de precipitação anual preenchidos. Após isso, a série de cada estação foi testada quanto à presença de *outliers*, os quais são valores extremos na série de dados. Para esta verificação, utilizou-se o teste de Grubbs & Beck descrito por Mello e Silva (2013). Caso a presença de *outliers* fosse verificada, seria utilizada metodologia proposta por Mello e Silva (2013) para a correção da série de dados.

4 RESULTADOS

Após a análise preliminar dos dados, observou-se intensa presença de falhas na grande maioria das estações contidas na bacia hidrográfica. Em relação à consistência dos dados, verificou-se inicialmente que algumas estações apresentaram dados dispersos, necessitando de correção.

O preenchimento das falhas anuais de dados das estações analisadas se deu mediante a aplicação do método da regressão linear simples ou múltipla e os resultados estão compilados no Quadro 2. Analisando o referido quadro nota-se que o modelo múltiplo com duas variáveis foi aquele que melhor se ajustou na grande maioria das estações. Resultado semelhante também foi verificado por Oliveira et al. (2008).

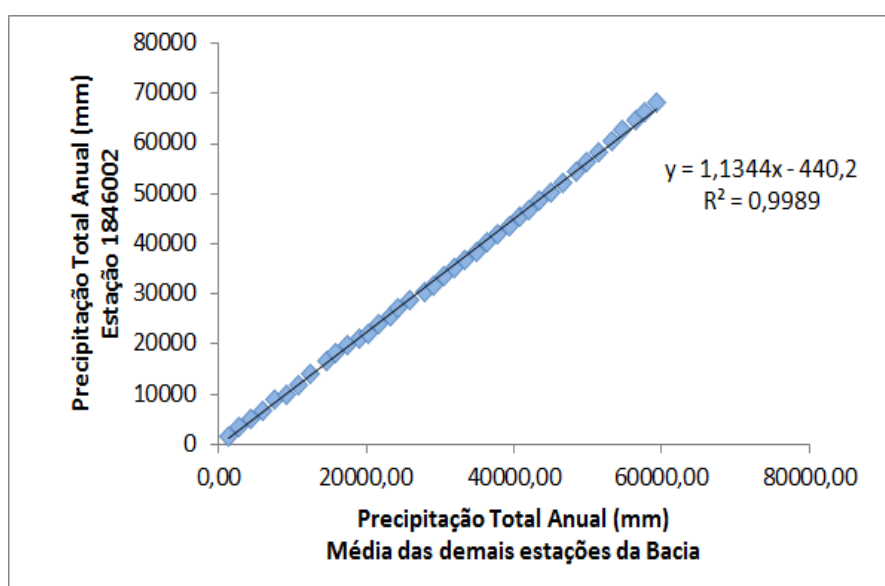
Quadro 2: Relação de estações com respectiva equação de regressão e nível de significância, indicados para cobrir falhas anuais de chuva

Estação	Município	Estações utilizadas no preenchimento de falhas	Equação ¹	Significância e R ²
1846002	Patrocínio	(1847010); (1947001); (1946007)	$= 918,561 - (0,245 * (1847010)) + (0,358 * (1947001)) + (0,477 * (1946007))$	5%; 0,483
1847010	Iraí de Minas	(1947006); (1846002)	$= 817,369 + (0,673 * (1947006)) - (0,221 * (1846002))$	1%; 0,68
1848004	Tupaciguara	(1848006); (01848000)	$= 324,950 + (0,272 * (1848006)) + (0,401 * (01848000))$	1%; 0,64
1848006	Tupaciguara	(1848004); (01848000)	$= 114,600 + (0,529 * (1848004)) + (0,415 * (01848000))$	1%; 0,603
1848008	Tupaciguara	(01848000)	$= -177,551 + (1,142 * (01848000))$	1%; 0,652
1848010	Araguari	(01848000)	$= 727,697 + (0,522 * (01848000))$	5%; 0,434
1946004	Ibiá	(1946007); (1946005)	$= -384,266 + (0,674 * (1946007)) + (0,629 * (1946005))$	1%; 0,827
1946005	Patrocínio	(1947006); (1946004)	$= 211,059 + (0,541 * (1947006)) + (0,335 * (1946004))$	5%; 0,852
1946007	Ibiá	(1946004); (1947007)	$= 609,986 + (0,244 * (1946004)) + (0,262 * (1947007))$	1%; 0,738
1946008	Serra do Salitre	(1946004)	$= 607,880 + (0,647 * (1946004))$	1%; 0,749
1946010	Pratinha	(1946004)	$= 828,243 + (0,589 * (1946004))$	5%; 0,581
1946011	Tapira	(2047037)	$= 805,165 + (0,501 * (2047037))$	1%; 0,542
1947001	Santa Juliana	(1947006)	$= 861,933 + (0,421 * (1947006))$	1%; 0,57
1947006	Patrocínio	(1847010); (1946005)	$= 94,118 + (0,276 * (1847010)) + (0,687 * (1946005))$	1%; 0,864
1947007	Perdizes	(1947001); (1847010)	$= 8,811 + (0,671 * (1947001)) + (0,343 * (1847010))$	1%; 0,74
1947008	Sacramento	(2047037)	$= 551,316 + (0,650 * (2047037))$	10%; 0,494
1947009	Santa Juliana	(1947006); (1947007)	$= 442,331 + (0,445 * (1947006)) + (0,316 * (1947007))$	5%; 0,672
1948006	Uberlândia	(19470010); (1848004)	$= 84,003 + (0,409 * (19470010)) + (0,617 * (1848004))$	1%; 0,656
2047037	Sacramento	(1946011); (1947008)	$= 741,039 + (0,189 * (1946011)) + (0,371 * (1947008))$	5%; 0,549

¹Embora não faça parte da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, a estação 01848000 foi utilizada para preencher as falhas anuais de algumas das estações em estudo, devido à proximidade com as mesmas.

Após o preenchimento das falhas dos dados anuais de precipitação, realizou-se a análise dos dados das séries completas, onde foi verificada a consistência dos dados de todas estações em estudo. Devido a extensa lista de estações avaliadas neste trabalho, será apresentado o resultado do teste de Dupla Massa somente para a estação Charqueada do Patrocínio (código ANA 1846002) (Figura 2). Verificou-se também, que após o preenchimento das falhas, não foi verificada a presença de *outliers* em nenhuma série de dados.

Figura 2: Resultado do teste de Dupla Massa para a estação Charqueada do Patrocínio (código ANA 1846002)



Fonte: AUTORES, 2016.

5 CONCLUSÃO

A partir do trabalho realizado pode-se concluir que a maioria das séries históricas de chuva disponibilizados pelo sistema *HidroWeb* apresenta falhas. As falhas na série de dados podem ser em função da ausência do observador, falhas nos mecanismos de registro, perda de anotações ou de transcrições dos registros pelos operadores e encerramento das observações. Para cada uma das estações pluviométricas instaladas na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari foi gerada uma equação de regressão para a cobertura de falhas anuais na série histórica de dados de chuva. Neste trabalho, as séries históricas com falhas cobertas apresentaram boa consistência e homogeneidade de acordo com o método da Dupla Massa e com a verificação de dados fora da curva a partir do método de Grubbs & Beck, concluindo que o método da Regressão Linear é de grande valia e precisão na cobertura de dados anuais de precipitação em séries de dados hidrológicos.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus pela vida e pela oportunidade que me tem concedido de cursar um ensino superior. Agradeço à minha família que sempre me apoiou em todos os momentos do curso. Agradeço também ao Professor Doutor Hudson de Paula Carvalho, pela oportunidade de trabalhar com pesquisas na área de recursos hídricos e também pelo auxílio nesta pesquisa e texto redigido.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br> Acesso em: 22/10/2015.

BERTONI, Juan C.; TUCCI, Carlos E. M.. Precipitação. In: TUCCI, Carlos E. M.. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Ufrgs, 2013. Cap. 5. p. 177-241.

ENDO, Cristiano K.; SAMPAIO, Silvio C.; SUSZEK, Morgana. CONSISTÊNCIA DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO DA REGIÃO OESTE DO ESTADO DO PARANÁ. **Revista Varia Scientia**, Paraná, v. 7, n. 13, p.95-100, Jan/Jul 2007.

MELLO, Carlos Rogério de; SILVA, Antônio Marciano da. **HIDROLOGIA: PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES EM SISTEMAS AGRÍCOLAS**. Lavras: Ed. Ufla, 2013. 455 p.

OLIVEIRA, Luiz F. C. de et al. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 11, p.1186-1192, 30 dez. 2008.

BRITO, Jorge Luis Silva; ROSA, Roberto. ELABORAÇÃO DO MAPA DE SOLOS DA BACIA DO RIO ARAGUARI NA ESCALA DE 1:500.000. In: II SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOGRAFIA "PERSPECTIVAS PARA O CERRADO NO SÉCULO XXI", 2003, Uberlândia. **Simpósio**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2003. 7p.