

## MODELAGEM DE FALHAS FLUVIOMÉTRICAS EM UMA BACIA REPRESENTATIVA

*Vinícius Verna Magalhães. Ferreira<sup>1</sup>; Adriane Silva Martino Pinho<sup>1</sup>;  
Cláudio José Chagas<sup>1</sup>; Bruna Lara Aleixo<sup>1</sup> & Marina Santos Mattioli Meneghini<sup>1</sup>*

*Márcio Benedito Baptista<sup>2</sup> & Márcia Maria Lara Pinto Coelho<sup>2</sup>*

**RESUMO** - O preenchimento de falhas em série de dados hidrológicos é um problema comum enfrentado por diversos pesquisadores. A aplicação de métodos matemáticos para solucionar este tipo de questão é uma prática utilizada em vários trabalhos e essas técnicas tornaram-se necessárias no decorrer dos estudos hidrológicos desenvolvidos na bacia representativa do Juatuba. Esta bacia, situada próximo à cidade de Belo Horizonte, tem sido utilizada como um laboratório hidrológico há diversos anos, em alguns projetos de pesquisa realizados em parceria pelo CDTN e UFMG. Este trabalho apresenta a metodologia utilizada para o preenchimento de falhas referentes aos dados fluviométricos, obtidos a partir de uma pequena rede hidrométrica instalada na bacia de Juatuba e coletados no período de outubro 2006 a setembro 2011. As ferramentas matemáticas utilizadas para desenvolvimento do processo foram o método dos mínimos quadrados e análises de correlação. Os resultados possibilitaram a elaboração de um banco de dados consistido, o que viabiliza a realização de estudos posteriores com estas informações.

Palavras chave: bacia representativa, hidrologia, vazões.

## MODELING OF MISSING RAIN FALL DATA IN A REPRESENTATIVE BASIN

**ABSTRACT** - Filling missing data in hydrological series is a common problem faced by many researchers. The application of mathematical methods to solve this kind of question is a practice used in many studies, and these techniques have become necessary in the course of the hydrological studies developed in the representative basin of Juatuba. This basin, located near the city of Belo Horizonte, has been used as a hydrological laboratory for several years, in some research projects carried out by the CDTN and UFMG. This work presents the methodology used to fill the gaps concerning to the fluviometric data obtained from a small hydrometric network installed in the Juatuba basin, in the period from October 2006 to September 2011. The mathematical tools used for process development were the least squares method and correlation analyzes. The results enabled the creation of a consisted database, enabling future studies with this information.

Key Words: representative basin, hydrology, flows.

---

<sup>1</sup> 1 - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN/CNEN  
Av. Antônio Carlos 6627, Campus UFMG. - CEP 31270-901 – Belo Horizonte - MG  
[yvmf@cdtn.br](mailto:yvmf@cdtn.br), [asmp@cdtn.br](mailto:asmp@cdtn.br), [cjc@cdtn.br](mailto:cjc@cdtn.br), [bla@cdtn.br](mailto:bla@cdtn.br), [mstm@cdtn.br](mailto:mstm@cdtn.br)

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da UFMG  
Av. Antônio Carlos 6627, Campus UFMG. - CEP 31270-901 - Belo Horizonte - MG  
[marcio.baptista@ehr.ufmg.br](mailto:marcio.baptista@ehr.ufmg.br), [lara@ehr.ufmg.br](mailto:lara@ehr.ufmg.br)

## INTRODUÇÃO

A Bacia Representativa de Juatuba é uma bacia rural situada a cerca de 50 km a oeste de Belo Horizonte, sendo formada pelos ribeirões Serra Azul e Mateus Leme. Essa bacia hidrográfica possuiu área de 442 km<sup>2</sup> e abrange os municípios de Mateus Leme, Igarapé e Itaúna. Suas características fisiográficas são semelhantes à de uma vasta região situada no centro de Minas Gerais. Devido a esses motivos a bacia foi escolhida pelo antigo DNAEE - Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica, para representar essa região do ponto de vista hidrológico. Os dados ali registrados desde o final dos anos 1970 constituem-se atualmente no melhor acervo de informações hidrológicas de pequenas bacias disponível no Estado de Minas Gerais (Chagas et al., 2010).

Desde o ano de 1996, o CDTN – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, instituto pertencente ao Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação, e o EHR/UFMG - Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, desenvolvem projetos conjuntos de pesquisa na Bacia de Juatuba. Os projetos efetuados no local contaram/contam com o apoio da FAPEMIG - Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais, da FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos e do CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

Segundo Drumond (2004), a adoção de bacias representativas é um recurso utilizado para contornar a inviabilidade de manterem-se redes hidrométricas com grande densidade de estações de boa precisão e que cubram todo o território em estudo. Desta forma, dentro de uma área que apresente características físicas homogêneas, é selecionada uma bacia cujo comportamento hidrológico possa ser considerado representativo das demais ali situadas. Escolhida a bacia, há uma concentração de esforços para a implantação de uma rede hidrométrica com um número de estações de boa qualidade suficiente para a obtenção da maior quantidade possível de informações sobre o comportamento hidrológico da mesma. Depois de um estudo acurado desses dados, os resultados são extrapolados para outras bacias da região, através de análises de correlação.

O objetivo deste trabalho é apresentar a metodologia utilizada para consolidar e validar alguns dados hidrológicos monitorados na bacia de Juatuba durante um período de cinco anos. Métodos matemáticos foram aplicados para se estimar os dados perdidos devido às falhas nas sondas automáticas, manutenções programadas e outras contingências.

## ÁREA DE ESTUDO

As figuras 1 e 2 apresentam a localização da Bacia de Juatuba e a posição das estações utilizadas para o monitoramento hidrológico do local, onde há o registro contínuo das variações de nível d'água, condutividade e temperatura das águas.

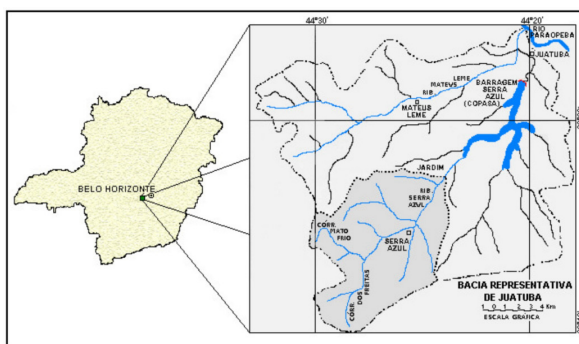


Figura 1 – Localização da Bacia Representativa de Juatuba

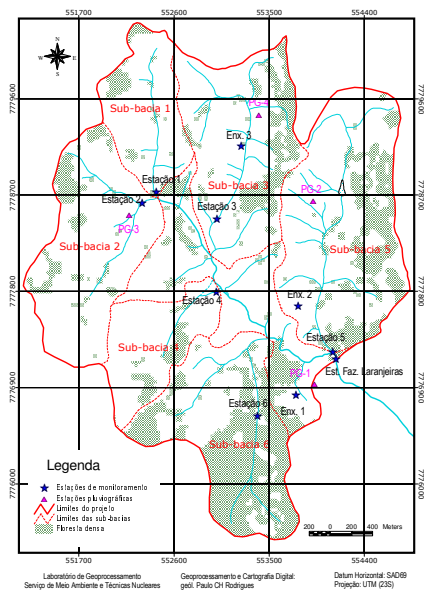


Figura 2 – Posição das estações de monitoramento

A área de estudo na Bacia de Juatuba foi dividida, em um projeto anterior, em seis sub-bacias, cujas áreas de drenagem variam entre 0,8 e 2,3 km<sup>2</sup>. Em cada uma dessas sub-bacias foi instalada uma estação com um vertedouro, para medição das vazões, uma sonda equipada com “datalogger” e três sensores para o registro contínuo das variações de nível d'água, condutividade e temperatura das águas. No exutório (estação 7), onde havia anteriormente uma estação linigráfica da

CPRM/ANA – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Agência Nacional de Águas, foi instalada também uma sonda para o registro dos mesmos três parâmetros citados acima.

Ressalta-se que os locais definitivos das estações fluviométricas foram escolhidos considerando-se, dentre outros fatores, a proximidade do exutório de cada sub-bacia, a facilidade de acesso e a conformação da seção transversal do curso d'água para facilitar a construção dos vertedores (Drumond & Nascimento, 2007).

Os vertedores instalados na região são retangulares, tendo sido caracterizada para cada um a largura e a altura interna da soleira, a largura do canal e a altura máxima. Observa-se que estas características não se aplicam a estação número 6, onde está instalada uma Calha Parshall com largura nominal de 6 polegadas (15,24cm) e altura máxima de 45 cm. No caso da estação número 7 não há vertedouro, a sonda está instalada no leito natural do Córrego Mato Frio e as medidas de nível de água também são efetuadas através das réguas linimétricas instaladas pela CPRM.

## **METODOLOGIA**

Após um tratamento preliminar, os dados brutos armazenados pelas sondas automáticas, que indicam os valores do nível de água registrados a cada dez minutos, são transformados em valores diários de vazões para cada uma das estações monitoradas. O nível de água é transformado em vazão, nas estações 2 a 5, através da Fórmula de Francis para vertedores sem contrações laterais. Na estação 1 é utilizada a fórmula de Francis para vertedores com duas contrações laterais, e na estação 6, onde se encontra instalada uma Calha Parshall, a equação de ajuste de valores utilizada foi fornecida pelo fabricante. Na estação número 7, onde não existe vertedor, a medição das descargas líquidas realizada mensalmente pelos técnicos da CPRM desde o mês de agosto de 1976 permitiu a construção da curva chave e a consequente estimativa das vazões.

Para cada um dos cinco anos hidrológicos estudados (outubro 2006 a setembro 2011), a estação 7 foi mensalmente correlacionada às estações números 1 a 5. O parâmetro considerado nestas correlações foi o valor médio mensal das vazões naturais. Assim sendo, para as estações 1 a 5 obteve-se, para cada ano, um modelo de regressão linear em relação à estação 7. Observa-se aqui que como houve problemas técnicos na estação número 6 na maior parte do período em estudo, o preenchimento de falhas desta estação foi descartado.

O modelo de regressão utilizado foi o método dos mínimos quadrados, que minimiza a soma das diferenças elevadas ao quadrado (Freund & Wilson, 1998). A equação da regressão linear

simples é apresentada abaixo.

$$y_i = a \cdot x_i + b \quad (1)$$

onde:  $y_i$  = valor previsto de  $y$  para a observação  $i$ ;

$a$  = inclinação da amostra;

$x_i$  = valor de  $x$  para a observação  $i$ ;

$b$  = intercepto de  $Y$  da amostra.

O coeficiente de determinação indica quanto da variação total é comum aos elementos que constituem os pares analisados. Assim, a qualidade da regressão é indicada por este coeficiente, sendo que seu valor varia entre um e zero. Quanto mais próximo da unidade, melhor será a confiabilidade da linha de tendência. Desta forma, o coeficiente de determinação indica a proporção da variação total na variável dependente que é explicada pela variação da variável independente (Hair et al., 1998). O coeficiente de determinação  $R^2$  pode ser definido através da equação 2.

$$R^2 = \frac{\text{Soma dos quadrados da regressão}}{\text{Soma total dos quadrados}} \quad (2)$$

Devido aos problemas citados anteriormente, em vários casos houve perda nos dados coletados pelas sondas, sendo necessária à aplicação de modelos matemáticos para o preenchimento de falhas (Tucci et al., 1993). Nos meses onde os dados de vazão estavam incompletos, a equação de regressão obtida para aquele ano hidrológico – que não incluía os meses com falha de registros, foi utilizada para se completar a série de dados.

## RESULTADOS

Para exemplificar os resultados obtidos, a tabela 1 apresenta a configuração quando da análise inicial da estação número 1 para o período compreendido entre outubro 2006 e setembro 2011. Verifica-se que neste período, houve problemas em alguns meses quando na coleta automática dos dados hidrológicos. Desta forma, foi necessário o preenchimento de falhas nos períodos identificados com a sigla DMI - Dados Mensais Incompletos. A tabela 2 apresenta a configuração obtida após o preenchimento de falhas.

Tabela 1 – Valores médios de vazão em litros/seg., período outubro/2006 a setembro/2011, estação número 1

Ano/mês	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Janeiro	-	54,85	6,87	22,03	DMI	8,57
Fevereiro	-	17,23	14,87	DMI	9,70	4,60
Março	-	9,59	DMI	19,81	20,13	31,50
Abril	-	8,99	8,64	12,77	12,25	8,53
Maio	-	5,73	9,22	8,74	11,17	5,25
Junho	-	4,00	7,28	DMI	9,06	4,29
Julho	-	2,83	DMI	DMI	DMI	4,12
Agosto	-	3,54	3,77	3,84	DMI	DMI
Setembro	-	3,24	DMI	5,10	DMI	DMI
Outubro	7,25	DMI	4,40	11,60	11,10	-
Novembro	DMI	DMI	4,79	7,04	11,35	-
Dezembro	16,03	6,09	22,57	DMI	8,10	-

DMI – Dados Mensais Incompletos

Tabela 2 – Valores médios de vazão em litros/seg., período outubro/2006 a setembro/2011, estação número 1, após o preenchimento de falhas

Ano/mês	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Janeiro	-	54,85	6,87	22,03	19,37	8,57
Fevereiro	-	17,23	14,87	25,50	9,70	4,60
Março	-	9,59	14,71	19,81	20,13	31,50
Abril	-	8,99	8,64	12,77	12,25	8,53
Maio	-	5,73	9,22	8,74	11,17	5,25
Junho	-	4,00	7,28	6,14	9,06	4,29
Julho	-	2,83	4,96	5,28	7,31	4,12
Agosto	-	3,54	3,77	3,84	6,32	3,71
Setembro	-	3,24	4,87	5,10	6,29	4,81
Outubro	7,25	4,97	4,40	11,60	11,10	-
Novembro	8,17	5,23	4,79	7,04	11,35	-
Dezembro	16,03	6,09	22,57	27,48	8,10	-

As equações de regressão linear obtidas para o preenchimento de falhas na estação número 1, sendo x = vazão na estação 7 e y = vazão na estação 1, foram:

- ano hidrológico 1:  $y = 0,103 \cdot x - 6,97$  (coeficiente de determinação = 0,95);
- ano hidrológico 2:  $y = 0,036 \cdot x + 1,77$  (coeficiente de determinação = 0,92);
- ano hidrológico 3:  $y = 0,047 \cdot x + 2,20$  (coeficiente de determinação = 0,97);
- ano hidrológico 4:  $y = 0,076 \cdot x + 2,09$  (coeficiente de determinação = 0,99);
- ano hidrológico 5:  $y = 0,088 \cdot x - 1,05$  (coeficiente de determinação = 0,91),

De acordo com os coeficientes obtidos é possível verificar que os resultados demonstram a

existência de uma correlação positiva entre os dados das estações 1 e 7. Um comportamento similar foi encontrado nas análises de correlação das demais estações, sendo 0,82 o menor valor entre todos os coeficientes obtidos.

A figura 3 apresenta dois gráficos que ilustram a consistência das séries fluviométricas após o processo de preenchimento de falhas, para a estação 1 nos anos hidrológicos compreendidos entre outubro de 2008 e setembro de 2009, e outubro de 2009 e setembro de 2010.

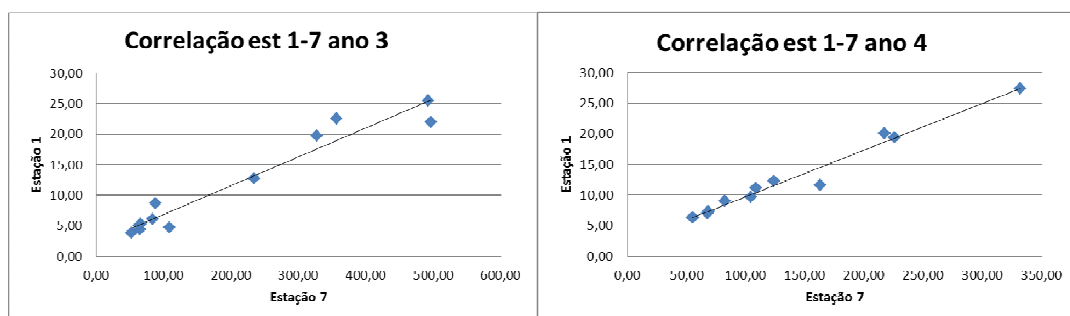


Figura 3a e 3b – Correlação entre as vazões das estações 1 e 7 nos períodos outubro/2008 a setembro 2009 e outubro/2009 a setembro 2010.

Ressalta-se que a escolha das estações e dos períodos presentes para ilustração nas tabelas 1 e 2 e na figura 3 ocorreu de forma aleatória, visto que houve 83 falhas em um total de 300 meses (60 meses x 5 conjuntos de correlações).

## CONCLUSÕES

O gerenciamento de recursos hídricos em bacias hidrográficas é muitas vezes deficiente devido à inexistência de dados hidrológicos, o que prejudica as atividades de saneamento, irrigação, abastecimento público e geração de energia elétrica entre inúmeras outras. O uso de modelos matemáticos possibilita a consolidação de dados hidrológicos perdidos devido a diversas contingências. Entre os métodos existentes para o preenchimento de falhas, o uso de regressões lineares simples - método dos mínimos quadrados, foi escolhido para aplicação nesse trabalho, onde se estimaram valores de parâmetros fluviométricos na bacia representativa de Juatuba. Os coeficientes de correlação encontrados indicaram uma boa qualidade dos dados hidrológicos estimados, o que possibilita uma melhor consistência no banco de dados fluviométricos associados aos estudos realizados na Bacia Representativa de Juatuba.

## AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos a FAPEMIG, ao CNPq e a FINEP. Aos colegas do CDTN Orozimbo Carneiro, Ladislau Miranda, Aimoré Dutra Neto, Antônio Dias, Cláudio Camargos, Cláudio Chagas e Nayron Lemos pelo auxílio nos trabalhos de campo. Aos leituristas Otávio Custódio Borges e Ana Maria Queiroz Borges.

## REFERÊNCIAS

CHAGAS, C.J., CAMARGOS, C.C. & FERREIRA, V.V.M. (2010) *Monitoramento Hidrológico na Bacia Representativa do Rio Juatuba para Gestão de Recursos Hídricos*. X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Fortaleza – CE.

DRUMOND, M. M. (2004). *A Técnica de traçadores e o seu potencial para ampliar o conhecimento hidrológico sobre as bacias brasileiras: um estudo aplicado à Bacia Representativa de Juatuba-MG*. Tese de doutorado, Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 304 p.

DRUMOND, M.M. & NASCIMENTO, N.O. (2007) *Separação de Escoamentos Utilizando a Condutividade Elétrica das Águas: um estudo realizado na Bacia Representativa de Juatuba - Alto São Francisco*. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e 8o. Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, São Paulo – SP.

FREUND, R.J & WILSON, W.J. (1998) *Regression Analysis: Statistical Modeling of a Response Variable*. Academic Press. San Diego, CA, USA.

HAIR, J. F., TATHAM, R. L., ANDERSON, R. L. & BLACK, W. (1998). *Análise Multivariada de Dados*. Bookman Companhia Editora, 5ª edição. São Paulo – SP.

TUCCI, C. E. M. (org.), (1993) *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, volume 4. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul / Editora da Universidade de São Paulo / Associação Brasileira de Recursos Hídricos.