

IV-144 - AVALIAÇÃO DA PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE VAZÕES MÁXIMAS NO RIO DOCE NO MUNICÍPIO DE COLATINA, ESPÍRITO SANTO, BRASIL

Wanderson de Paula Pinto⁽¹⁾

Licenciado em Matemática pela Faculdade da Região Serrana (FARESE), mestre e doutorando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo. Professor da Faculdade da Região Serrana (FARESE).

Gemael Barbosa Lima⁽²⁾

Engenheiro Ambiental, mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo. Professor da Faculdade da Região Serrana (FARESE) e do Centro Universitário do Espírito Santo (UNESC).

Edson Zambon Monte⁽³⁾

Economista pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), mestre em economia e doutor em engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Professor do Departamento de Economia da UFES.

Endereço⁽¹⁾: Rua Jequitibá, 121 – Centro – Santa Maria de Jetibá – ES – CEP: 29645-000 – Brasil – Tel: (27) 3263 – 2010 - email: wandersondpp@gmail.com

Endereço⁽²⁾: Rua Jequitibá, 121 – Centro – Santa Maria de Jetibá – ES – CEP: 29645-000 – Brasil – Tel: (27) 3263 – 2010 - email: gemaelbl@yahoo.com.br

Endereço⁽³⁾: Av. Fernando Ferrari, 514, Goiabeiras – Vitória – ES – CEP: 29075910 – Brasil – Tel: (27) 4009 – 2614 – email: edsonzambon@yahoo.com.br

RESUMO

O presente artigo tem por objetivo avaliar os impactos da precipitações máximas na probabilidade de ocorrer episódio de vazões de alerta de inundações ($> 4131 \text{ m}^3/\text{s}$) no município de Colatina, situado na bacia hidrográfica do Rio Doce. Para isso, aplicou-se o modelo Logit, que nada mais é que atribuir valores discretos 0 e 1 para a variável dependente, ou seja, especificamente nesse trabalho adotou-se 0 para vazões maiores ou iguais a vazões de alerta e 1 para vazões menores. Os dados utilizados nesse pesquisa foram obtidos junto a Hidroweb para as estações pluviométricas de Aimorés, Baixo Guandu, Itaguaçu, Itarana, Tumiritinga, Conselheiro Pena, Resplendor e Colatina e para estação fluviométrica de Colatina durante o período de 01/01/1986 a 31/12/2014. Os resultados mostram que ao manter a precipitação média nas estações de Tumiritinga, Baixo Guandu e Colatina, na condição de precipitação zero em Aimorés, tem-se 1,24% de chance de ocorrer vazões de alerta em Colatina. Já se precipitar 150 mm em Aimorés, a probabilidade de haver vazão de alerta é de 33,46%. Ao analisar os eventos de vazões de alerta para as quatro estações do ano, nota-se que no verão a probabilidade de ocorrer vazão de alerta é de 17,83% e na primavera de 8,1%. Portanto, o modelo Logit mostrou-se eficiente para precisão de vazões de alerta no rio Doce, podendo assim ser utilizadas por tomadores de decisões no que tange a mitigação dos impactos advindos dos eventos de enchente.

PALAVRAS-CHAVE: Regressão, Logit, Rio Doce, Previsão de Vazão de Pico, Enchente.

INTRODUÇÃO

À medida que a cidade se urbaniza, em geral, ocorre o aumento das vazões máximas, em até 7 vezes devido ao aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais e impermeabilização das superfícies (Mota, 2008). Nesse contexto, o conhecimento das vazões máximas de uma determinada localidade é necessária para a previsão de enchente, no projeto de obras hidráulicas de obras de drenagem urbana, diques, extravasores, bem como o controle a atenuação das cheias (Tucci, 2012).

A necessidade de adotar medidas direcionadas a prevenir e mitigar os danos causados pelas recorrentes inundações nas bacias hidrográficas, tem-se conduzido o emprego de ferramentas estatísticas no tratamento de dados hidrológicos. Meller et al. (2012) descreveram um método empírico de assimilação de dados com a modelagem hidrológica distribuída, com o intuito de prever as cheias do rio Piracicaba, os resultados apontaram que o método de assimilação tem impactos positivos nos resultados da previsão.

Hartmann et al. (2011) estimaram a precipitação pluvial máxima, em Presidente Prudente, SP, esperada para diferentes níveis de probabilidade, bem como verificaram o grau de ajuste dos dados ao modelo Gumbel, com as estimativas dos parâmetros obtidas pelo método de máxima verossimilhança.

Dentre as ferramentas estatísticas destaca-se o modelo Logit que por sua vez permite o ajuste de um conjunto de variáveis independentes a uma variável dependente dicotômica, ou seja, é possível estimar probabilidades de ocorrências em variáveis dependentes do tipo binário. O modelo Logit aplicado na modelagem de dados ambientais tem sido utilizado por Kuchenho e Thamerus (1996), Silva et al. (2011), Mendes e Vega (2011), entre outros autores. Adicionalmente, não se verifica na literatura específica estudos para prever/predizer picos de vazões máximas por meio da utilização do modelo Logit.

Dessa forma, este trabalho teve por objetivo avaliar os impactos das precipitações máximas na bacia hidrográfica do rio Doce na probabilidade de ocorrência de episódios de vazão de alerta de inundação, ou seja, vazões maiores ou iguais a 4131 m³/s no município de Colatina, ES, Brasil, no período de 01/01/1986 a 31/12/2014, por meio do modelo Logit.

MATERIAIS E MÉTODOS

A bacia hidrográfica do rio Doce (Figura 1), situada entre os paralelos 17°45' e 21°15' S e os meridianos 39°30' e 43°45' W, apresenta área aproximada de 83.400 km², dos quais 86% pertencem ao Estado de Minas Gerais e o restante ao Estado do Espírito Santo. Abrange, total ou parcialmente, áreas de 228 municípios, sendo 202 em Minas Gerais e 26 no Espírito Santo. O rio Doce, com uma extensão de 853 km, tem como formadores os rios Piranga e Carmo, cujas nascentes estão situadas nas encostas das serras da Mantiqueira e Espinhaço, onde as altitudes atingem cerca de 1.200 m e deságua no mar em Regência no município de Linhares/ES. Seus principais afluentes são: Santo Antônio, Suaçuí Grande, Casca, Matipó, Caratinga-Cuieté e Manhuaçu, em Minas Gerais e Pancas, São José e Guandu no Espírito Santo (C.B.H. Doce, 2014).

De acordo com a classificação de Köppen, identificam-se três tipos climáticos na bacia, a saber: o clima tropical de altitude com chuvas de verão e verões frescos, presente nas vertentes das serras da Mantiqueira e do Espinhaço e nas nascentes do rio Doce; clima tropical de altitude com chuvas de verão e verões quentes, presentes nas nascentes de seus afluentes; e clima quente com chuvas de verão, presentes nos trechos médio e baixo do rio Doce e de seus afluentes. A precipitação média anual na bacia varia de 1.500 mm, nas nascentes localizadas nas serras da Mantiqueira e do Espinhaço, a 900 mm, na região da cidade de Aimorés/MG, voltando a crescer em direção ao litoral (C.B.H. Doce, 2014).

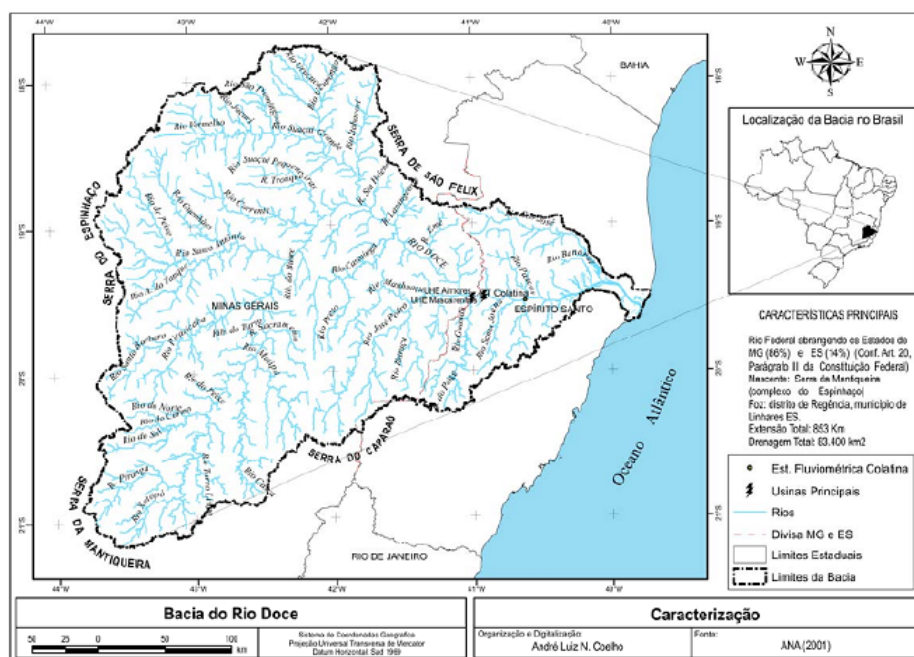


Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do rio Doce
Fonte: Coelho, 2007.

Dados

As séries históricas de precipitação máxima e vazões máximas utilizadas neste estudo foram obtidas junto ao Sistema de Informações Hidrológicas (HIDROWEB) mantido pela Agência Nacional de Água (ANA), disponível no site <http://hidroweb.ana.gov.br/>. As estações de monitoramento escolhidas, bem como o código e coordenadas geográficas estão apresentadas na Tabela 1.

Algumas estações de monitoramento operam desde o ano de 1939, porém como algumas só iniciaram a operação em 1980, para a utilização nesta pesquisa, utilizaram-se dados de vazões e precipitações máximas mensais do período de 01/01/1986 a 31/12/2014, resultando assim em séries históricas com dados de 40 anos. Tais séries apresentam dados, uma vez que podem acontecer falhas nos equipamentos de medição. No entanto, a imputação dessas observações faltantes foi baseada na metodologia estudada por Pinto (2013).

Tabela 1: Coordenadas geográficas das estações pluviométrica utilizadas nesse estudo.

Código	Estação	Coordenadas	
		Latitude	Longitude
1941010	Aimorés	-19:29:33	-41:09:42
1941003	Baixo Guandu	-19:31:25	-41:00:51
1940012	Itaguaçu	-19:39:49	-40:50:07
1940000	Itarana	-19:52:28	-40:52:28
1841011	Tumiritinga	-18:58:35	-41:38:25
1941005	Conselheiro Pena	-19:03:42	-41:31:58
1941004	Resplendor	-19:20:35	-41:14:46
1940006	Colatina	-19:31:51	-40:37:23

Modelo Logit

Para verificar a influência da precipitação aferidas nas estações pluviométricas da bacia hidrográfica do rio Doce na probabilidade de ocorrência de picos de vazões de alerta de inundação, foi utilizado o modelo Logit (Gujarati e Porter, 2008), que admite valores discretos, zero e um (variável binária), para a variável dependente. Foram

considerados dados pluviométricos dos seguintes municípios da Bacia do estado de Minas Gerais: Tumiritinga (TUMIR), Conselheiro Pena (CPENA), Resplendor (RESPL) e Aimorés (AIMOR) e, do estado do Espírito Santo: Itarana (ITAR), Itaguaçu (ITAGUA), Baixo Guandu (BGUAD) e Colatina (COLAT). No mais, como a regressão logística considera a variável dependente como dicotômica, a série temporal de vazões máximas de Colatina foi transformada em uma variável dummy, apresentado a seguinte classificação: um (1), para vazões maiores ou iguais a de alerta de inundação ($4131\text{m}^3/\text{s}$) e zero (0) para valores abaixo das de alerta.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados para a equação logística estimada para a série de vazões máximas mensais, considerando como variáveis explicativas a precipitação em Tumiritinga, Aimorés, Baixo Guandu e Colatina. Também são apresentados os respectivos efeitos marginais de cada variável sobre a probabilidade de ocorrência de vazões de alerta de inundação. Verificou-se que a regressão como um todo foi estatisticamente significativas. Observa-se que todos os coeficientes são estatisticamente significativos de acordo com o teste z. Uma vez que a variável precipitação, medida nos demais municípios contemplados neste estudo, não foram estatisticamente significativas, as mesmas não foram incorporadas no ajuste do modelo final.

Tabela 2: Equação logística considerando as variáveis e seus efeitos marginais.

Variáveis	Coefficientes	Erro-padrão	Valores de Z	Valor-p	Efeito marginal
Constante	-5,8444*	0,6083	-9,6071	0,0000	
TUMIR	0,0175**	0,0059	2,9341	0,0033	0,0004
AIMOR	0,0246*	0,0061	4,0396	0,0001	0,0006
BGUAD	0,0184**	0,0077	2,3737	0,0176	0,0005
COLAT	0,0173**	0,0077	2,2337	0,0254	0,0004

Observações com variáveis dependente = 0,327

Observações com variáveis dependente 121

Total de observações = 348

Nota: 1) *significativo a 1%, **significativo a 5%; e, 2) As estimativas foram realizadas utilizando o método de covariância robusta GLM (Modelo Linear Generalizado).

Com a aplicação do modelo Logit, e mantendo a precipitação média constante nas estações de Tumiritinga, Baixo Guandu e Colatina, na condição de precipitação zero em Aimorés, tem-se 1,24% de chance de ocorrer uma vazão de alerta em Colatina, já para um dia com precipitação de 150 mm no referido município, tem-se 33,48% de probabilidade de ocorrência de vazão de alerta de inundação.

Analisando os efeitos marginais (Tabela 2) verifica-se que, para cada unidade de acréscimo na precipitação em Tumiritinga ou em Colatina ocasionou um aumento de 0,04 pontos percentuais na probabilidade de ocorrer uma vazão de alerta de inundação em Colatina, já um aumento de um milímetro na precipitação em Aimorés ocasionou um aumento na probabilidade de vazão de alerta de 0,06 pontos percentuais. Já para o município de Baixo Guandu, o aumento de uma unidade na precipitação acarreta um aumento de 0,05 pontos percentuais na probabilidade de uma vazão de alerta.

Além disso, também foram estimadas regressões logísticas para as estações do ano primavera e verão (Tabela 3), todos os 21 eventos extremos de vazões em Colatina ocorreram nestas duas estações. Como não ocorreu eventos extremos no inverno e outono, não foi feita a estimação de modelos para estas duas estações.

De acordo com o resultado do teste z apresentados na Tabela 3, os coeficientes estimados para as duas estações do ano, verão e primavera, foram estatisticamente significativos. Como era esperado, os coeficientes da primavera e do verão foram positivos, indicando que nos períodos com maiores volumes de chuva, a chance de ocorrência de um evento de vazão de alerta em Colatina aumentou. Analisando os efeitos marginais (Tabela 3) verifica-se que no verão a probabilidade de ocorrer um evento de vazão extrema elevou-se em 17,83 pontos percentuais. Já na primavera o efeito marginal igual a 0,0810 demonstra que nesta estação a probabilidade deste evento elevou-se em 8,1 pontos percentuais.

Tabela 3: Equação logística considerando as variáveis explicativas e seus efeitos marginais.

Variáveis	Coefficientes	Erro-padrão	Valor de Z	Valor-p	Efeito Marginal
Constante Verão	-3,3322*	0,3392	-9,8227	0,0000	
	1,4996**	0,4601	3,2589	0,0011	0,1783
Constante Primavera	-3,0325*	0,2955	-10,2607	0,0000	
	0,8730***	0,4596	1,8993	0,0575	0,0810

Observações com variáveis dependente = 0,327
 Observações com variáveis dependente 121
 Total de observações = 348

Nota: 1) *significativo a 1%, **significativo a 5%, *** significativo a 10%; e, 2) As estimativas foram realizadas utilizando o método de covariância robusta GLM (modelo Linear Generalizado).

Aplicando-se as informações de cada estação do ano na Equação (1), foi obtido que, no verão, a probabilidade de ocorrer um evento de vazão igual ou superior a de alerta é de 13,79% e na primavera é de 10,34%.

Os resultados apresentados neste trabalho corroboram os encontrados em Macêdo et al. (2013), os quais argumentam que o aumento da precipitação, assim como estações do ano com maior pluviosidade, proporcionam maiores chances de ocorrer um evento extremo de vazão.

CONCLUSÕES

A partir dos objetivos dessa pesquisa pode-se concluir modelos logísticos simples podem ser usados para calcular probabilidades de se obter eventos de vazões de alerta de inundação. Os resultados mostraram que a precipitação nas cidades de Tumiritinga, Aimorés, Baixo Guandu e Colatina, o verão e a primavera contribuem significativamente para se obter eventos de vazões extrema em Colatina, ES.

Por fim, espera-se que os resultados deste trabalho possam subsidiar o planejamento municipal específico que auxilie na tomada de decisão para reduzir os impactos, tais como: inundações em área urbana, em áreas de plantação agrícola, danificações de estradas, danos em sistemas de drenagem, que são causados pelos eventos extremos de precipitação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. C.B.H. DOCE (2014). A bacia do rio Doce: Caracterização da bacia. Comitê da bacia hidrográfica do rio Doce, Governador Valadares, Minas Gerais, URL http://www.riodoce.cbh.gov.br/bacia_caractericao.asp.
2. HARTMANN, M., MOALA, F. A., MENDONÇA, M. A. (2011). Estudo das precipitações máxima anuais em Presidente Prudente. Revista Brasileira de Meteorologia, 26(4), 561–568.
3. KUCHENHO, H., THAMERUS, M. (1996). Extreme value analysis of munich air pollution data. Environmental and Ecological Statistics, 3(2), 127–141.
4. MACÊDO, M. N. C., DIAS, H. C. T., COELHO, F. M. G., ARAÚJO, E. A., SOUZA, M. L. H., SILVA, E. (2013). Precipitação pluviométrica e vazão da bacia hidrográfica do Riozinho do Rôla, Amazônia Ocidental. Revista Ambiente & Água, 8(1), 206–221.
5. MELLER, A., BRAVO, J. M., COLLISCHONN, W. (2012). Análise de dados de vazão na previsão de cheias em tempo real com o modelo hidrológico MGH-IPH. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 17(3), 209–224.
6. MENDES, C. A. B., VEGA, F. A. C. (2011). Técnicas de regressão logística aplicada à análise ambiental. Revista Geografia, 20(1), 5–30.
7. MOTA, S. (2008). Gestão de Recursos Hídricos, 3º ed. Rio de Janeiro: ABES.
8. Pinto, W. P. (2013). O uso da metodologia de dados faltantes em séries temporais com aplicações a dados de concentração (PM10) observados na Região da Grande Vitória. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, ES.
9. SILVA, W. S., PAIXÃO, A. N., ARAÚJO, A. F. V., PICANÇO, A. P. (2011). Avaliação dos benefícios da coleta de lixo em Palmas, Tocantins: uma aplicação do método de avaliação contingente. Engenharia Sanitária e Ambiental, 16(2), 141–148.
10. Tucci, C. E. M. (2012). Hidrologia: ciência e aplicação, 4º ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH.