

## SIMULAÇÃO HIDRÁULICA DE VAZÕES EXTREMAS E MANCHAS DE INUNDAÇÃO EM TRECHO DO RIO URUGUAI, NO MUNICÍPIO DE URUGUAIANA, RIO GRANDE DO SUL

*Wenerson de Carvalho Benassulli Moreira<sup>1</sup>; Cássio Guilherme Rampinelli<sup>2</sup>; Bráulio Eduardo da Silva Maia<sup>3</sup>*

**ABSTRACT** – The growth of urbanized areas in Brazil has taken place in an accelerated way and, in most cases, it occurs without the proper approach on issues related to urban drainage and the delimitation of flood risk areas. There is an increasing on the number of records related to damages and losses caused by floods in cities where people occupy the natural floodplain region. As an alternative to stimulate the relocation of housing situated in natural floodplain areas which are frequently affected by floods, the Federal Government issued The Inter-Ministerial Order (Ministry of National Integration and Ministry of Cities) N. 01/2013. As established in this regulation, in case of flood, with the official recognition of the emergency situation by the Federal Government, the affected municipality should present to the Ministry of National Integration a map with flood risk areas possibly affected by different return periods of events. Among other documents, this information is required so that the Federal Government should provide financial support to relocate houses affected by the event. However, since the publication of this regulation, it has been observed that most of the Brazilian municipalities have great difficulties in presenting such studies, mainly because of technical limitations and lack of resources to hire field survey and data acquisition. In this way, the present work shows a case study in Uruguaiana/RS municipality, in a reach of Uruguai River, which is regularly affected by floods, employing free topographical data from SRTM images, free flow data from National Water Agency data bank and the free hydraulic model: HEC-RAS, from the US Army Corps of Engineers. As result, the study presents a flood map with different return periods and the associated flow.

**Palavras-Chave** – Mapas de inundação, HEC-RAS, Cheias.

---

1) IESB – Instituto de Ensino Superior de Brasília, wenerson.carvalho07@gmail.com

2) Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, Esplanada dos Ministérios, Bloco E, 7º Andar, [cassio.rampinelli@integracao.gov.br](mailto:cassio.rampinelli@integracao.gov.br), 61-2034-5515

3) Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, Esplanada dos Ministérios, Bloco E, 7º Andar, [braulio.maia@integracao.gov.br](mailto:braulio.maia@integracao.gov.br), 61-2034-5553

## 1 - INTRODUÇÃO

O crescente aumento da urbanização brasileira associado ao planejamento urbano precário potencializa os registros de danos e prejuízos ocasionados por enchentes e inundações no país. Segundo levantamento realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e publicado na Pesquisa de Informações Básicas Estaduais e Municipais de 2014 (IBGE, 2015), as enchentes atingiram 1.543 municípios brasileiros entre o período de 2008 e 2012, deixando cerca de 1.406.713 pessoas desalojadas ou desabrigadas.

Um levantamento realizado pelo Banco Mundial em agosto de 2012, avaliou um montante de perdas e danos da ordem de R\$ 1,89 bilhões, relativos apenas às inundações bruscas ocorridas em junho de 2010, em vários municípios do estado de Alagoas (BANCO MUNDIAL, 2012). Ainda segundo o referido levantamento, esse montante correspondia a cerca de 8% do PIB do estado. Em termos de pessoas afetadas, segundo registros da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, reproduzidos no citado documento, 269.651 pessoas foram diretamente afetadas, das quais 28.577 foram consideradas desabrigadas e 44.052 desalojadas. Considerando o número de óbitos associados aos tipos de desastres, conforme o Anuário de Desastres Naturais de 2012 (BRASIL, 2012), publicado pelo Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres - CENAD), verifica-se que os desastres relacionados às enxurradas, inundações e chuvas intensas somaram juntos o maior percentual de óbitos dos registros, seguido dos desastres associados à deslizamentos.

Embora os desastres impulsionem de forma impetuosa ações emergenciais dos gestores públicos nas situações pós-desastres, tendo em vista o clamor público e a comoção social, é notório que a melhor solução para o problema perpassa por ações de planejamento do uso e ocupação do solo, associadas a políticas públicas com investimentos em infraestrutura urbana.

A dificuldade de conciliar o planejamento urbano à crescente demanda de uso e ocupação do solo no Brasil tem exposto cada vez mais as áreas urbanas ribeirinhas a danos e prejuízos ocasionados por eventos de inundações e alagamentos. Em grande parte dessas cidades, o crescimento das áreas urbanizadas tem se dado de forma acelerada, contudo, são poucos os casos em que a drenagem urbana e as áreas previstas para enchentes e inundações foram consideradas fatores preponderantes para o planejamento da expansão urbana.

Diante desse contexto, são recorrentes os casos de decretação de situação de emergência devido a inundações e alagamentos por municípios que ocupam margens de cursos d'água. Nas ocorrências em que há reconhecimento federal, o município afetado pode contar com apoio do governo federal para fazer frente às ações necessárias posteriores ao evento, dentre elas, destaca-se a possibilidade de realocar habitações que tenham sido destruídas ou afetadas por tais eventos críticos.

Tendo em vista que a melhor abordagem relacionada à minimização dos prejuízos e danos decorrentes de inundações e enchentes perpassa por ações de planejamento da infraestrutura

urbana, o Governo Federal, como forma de estimular essa iniciativa na realocação das habitações em situações pós desastres, emitiu a Portaria Interministerial (Ministério da Integração/Ministério das Cidades) nº 01, de 24 de julho de 2013 (BRASIL, 2013).

Conforme dispõe esse normativo, nos casos de eventos de inundações, dentre os diversos documentos necessários de serem apresentados ao Ministério da Integração Nacional pela municipalidade afetada, destaca-se a necessidade de se encaminhar mapa com a delimitação das áreas afetadas para as recorrências de um, três, cinco, dez e vinte e cinco anos.

Contudo, desde a emissão do citado normativo tem se observado uma grande dificuldade das municipalidades em apresentar os referidos estudos, principalmente, por limitações técnicas operacionais dos quadros de servidores das prefeituras, além da carência de recursos para o levantamento de dados hidrométricos e topobatimétricos necessários aos estudos.

Dessa forma, o presente trabalho se propõe a realizar um estudo de caso no município de Uruguaiana/RS, afetado por inundações recorrentes, apresentando a geração de manchas de inundação por meio do software livre HEC-RAS (USACE, 2008), desenvolvido pelo U.S. Army Corps of Engineers (USACE), com base em imagens gratuitas SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e dados hidrométricos gratuitos do Portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas.

## 2 - ÁREA DE ESTUDO

O município de Uruguaiana está localizado no extremo ocidental do estado do Rio Grande do Sul, junto à fronteira fluvial com a Argentina e o Uruguai. O centro urbano tem muitas unidades habitacionais vulneráveis a inundações. Segundo Aimon (2017), aproximadamente 2.200 unidades habitacionais estão localizadas em área de perigo de inundação.

A área de estudo consiste em um trecho do Rio Uruguai de cerca de 7 km que possui em sua porção inicial, à margem direita, a cidade de Paso de Los Libres, na Argentina e, à margem esquerda, a cidade de Uruguaiana/RS. A Figura 1 apresenta uma imagem do trecho do rio estudado.

## 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia de estudo partiu, inicialmente, de um levantamento do histórico de dados hidrométricos (cotas e vazões) no banco de dados do Portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas – ANA, ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) para a Estação Fluviométrica Uruguaiana (Cód. 77150000), localizada às coordenadas 29° 44' 55" de Latitude Sul e 57° 05' 21" de Longitude Oeste, próxima à ponte que liga a cidade de Uruguaiana/RS à cidade de Paso de Los Libres na Argentina (Vide localização da estação na Figura 1). A Tabela 1, a seguir, resume as principais características da estação fluviométrica adotada como referência para este estudo, cujos dados foram acessados em dezembro de 2017.

Tabela 1 – Estação fluviométrica utilizada

Código	Nome do posto	Município	Período de observação	Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )	Altitude (m)
77150000	Uruguaiana	Uruguaiana	1942-2017	190.000	39,46 m

Além dos dados de cota, foram acessados os dados de Resumo de Descarga (informações referentes às medições de vazões realizadas na estação) e Perfil Transversal (seção topobatimétrica levantada por barco em 11/02/2015, pelo equipamento Sontek-M9, no alinhamento das réguas da estação), dados retirados do portal Hidroweb da ANA.

A partir dos dados de vazões levantados, após análise de consistência e análise de *outliers* (foram consideradas vazões máximas anuais para os períodos de 1942 a 2017), realizaram-se ajustes às distribuições probabilísticas de valores extremos de Gumbel e Exponencial de Dois Pâmetros. Esses ajustes permitiram a obtenção de vazões extremas para diferentes tempos de recorrência. Em seguida, um Modelo Digital de Elevação (MDE) foi criado para o trecho de estudo com base em imagens SRTM tratadas e disponibilizadas no sítio eletrônico do Projeto TOPODATA do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE, 2011). A calha do rio foi ajustada com base em seção topobatimétrica disponibilizada para a Estação Uruguaiana (77150000) no Portal de dados Hidroweb.

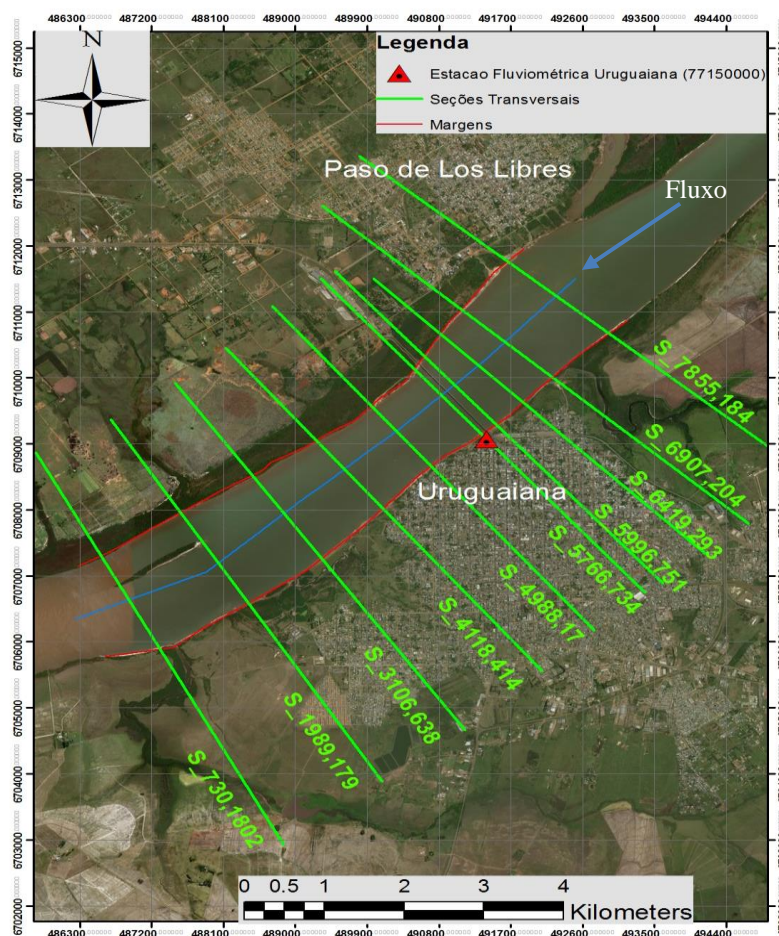


Figura 1 – Trecho de estudo, seções transversais consideradas e Estação Fluviométrica de referência.



Considerando o pequeno trecho simulado, foram criadas seções topobatimétricas adicionais (Seções S\_730,1802 a S\_4988,17 e Seções S\_5996,751 a S\_7855,184), com base na seção levantada nas imediações da Estação Fluviométrica de referência (Seção S\_5766,734) e no MDE obtido a partir das imagens SRTM.

Para tal, assumiu-se o mesmo formato de batimetria (calha) para as demais seções, deslocando-se a seção levantada para jusante ou montante, com base na declividade média da linha d'água para o trecho em estudo. As margens foram mantidas com as informações topográficas advindas das imagens SRTM.

A declividade média da linha d'água (0,0075 m/m) foi estimada a partir da equação de Manning por meio das informações de área molhada e perímetro molhado das medições de vazões disponíveis nos dados de Resumo de Descarga da estação.

Com base nessas informações, por meio do software HEC-RAS realizou-se uma simulação de fluxo em regime permanente no modelo unidimensional -1D. Calibrou-se o coeficiente de Manning, processando-se o modelo hidráulico repetidas vezes até se obter a melhor configuração de coeficiente de Manning que resultasse em uma mancha de inundação gerada pelo modelo próxima àquela verificada para a cheia ocorrida em 07/07/2014 (vazão medida de 22.707 m<sup>3</sup>/s). O contorno da mancha de inundação de julho de 2014 foi delimitado por meio de imagem de satélite de mesma data disponível no histórico do programa Google Earth Pro. As simulações foram realizadas desconsiderando a ponte que liga Uruguaiana à Argentina, tendo em vista que a vazão do evento de julho de 2014 escoou entre os vãos da estrutura, não ocorrendo efeitos significativos de represamento.

Após a calibração, processou-se o modelo para diferentes valores de vazões associadas à diferentes tempos de recorrência, sendo obtidas as respectivas manchas de inundação com apoio de software de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

## 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após ajustes dos dados às distribuições de extremos de Gumbel e Exponencial de Dois Parâmetros, realizou-se o teste de aderência Qui-Quadrado e avaliou-se o coeficiente de assimetria para ambas as distribuições. Tendo em vista que para ambas as distribuições houve aderência ao teste, para seleção da distribuição considerou-se a recomendação do Manual de Inventário de Bacias Hidrelétricas (BRASIL, 2007) que recomenda o uso da distribuição de Gumbel quando a assimetria da amostra é inferior a 1,5, e Exponencial Dois Parâmetros para assimetrias amostrais superiores a 1,5. Para os dados considerados neste estudo, a assimetria amostral foi de 0,31 tendo sido, portanto, adotada a distribuição de Gumbel. A Tabela 2 apresenta as vazões obtidas para diferentes tempos de recorrência considerando o ajuste realizado, sendo que o evento de inundação ocorrido em julho de 2014 tem tempo de recorrência de 9 anos.

Tabela 1 – Vazões para diferentes tempos de recorrência para o trecho em estudo

Tr (anos)	Q (m <sup>3</sup> /s)
2	15.056
3	17.417
4	18.928
5	20.047
10	23.351
15	25.216
20	26.521
25	27.527
30	28.345
35	29.034
40	29.630
50	30.624
100	33.699
500	40.804

A Figura 2 apresenta a comparação entre a mancha de inundação observada para a cheia que ocorreu em 07/07/2014 (mancha em azul) e aquela obtida após o processo de calibração (contorno vermelho). Os coeficientes de Manning obtidos para calha e para as margens após o processo de calibração foram 0,038 e 0,12 respectivamente.

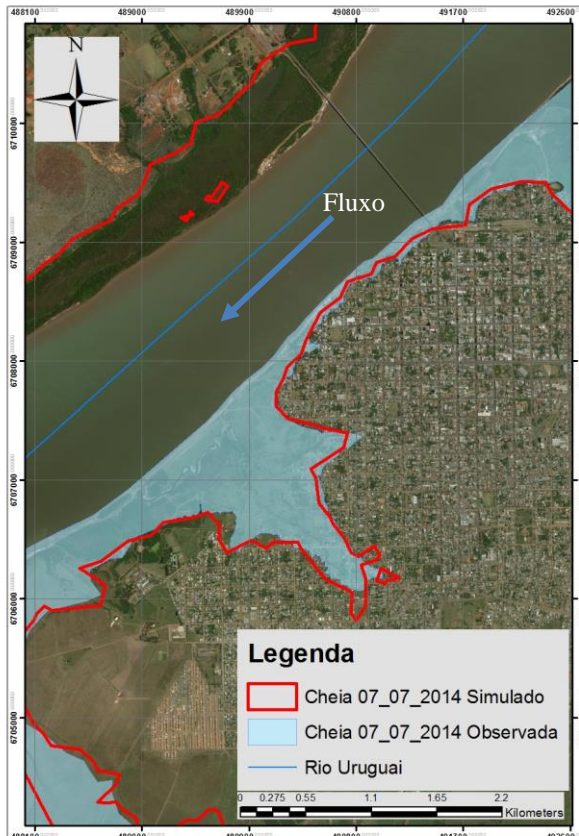


Figura 2 – Comparação entre a mancha de inundação gerada após a calibração do modelo e aquela observada para cheia de 07/07/2014

Os resultados obtidos mostram relativa proximidade entre a mancha simulada e aquela observada. Para fins de comparação aferiu-se a distância linear entre os limites das manchas em 63 pontos dentro do trecho simulado, além da comparação entre as áreas inundadas do espelho d'água para cheia simulada e observada. Em relação ao afastamento linear dos limites das manchas, observaram-se distâncias máximas de 315 m além do perímetro da cheia observada e 146 m aquém do perímetro da cheia observada. Em relação às áreas inundadas, a diferença percentual entre a simulada e a observada foi de 0,14 %, a Tabela 2, a seguir, resume os resultados obtidos.

Tabela 2 – Comparação entre as áreas da mancha observada e simulada no trecho simulado

Área inundada observada	84.797.931.016 m <sup>2</sup>
Área inundada simulada	84.913.522,407 m <sup>2</sup>
Diferença	115.591.391 m <sup>2</sup>
Diferença percentual	0,14%

A mancha observada foi demarcada apenas para o lado esquerdo do trecho simulado (em relação ao sentido do fluxo), referente à cidade de Uruguaiana/RS.

Após o procedimento de calibração, fixando-se os coeficientes de Manning obtidos foram geradas as manchas de inundação para os tempos de recorrência de 2, 3, 5, 10,15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 100 e 500 anos. A Figura 3 apresenta os resultados obtidos para as manchas. À esquerda apresenta-se uma visão geral do trecho simulado, à direita a imagem apresenta um detalhe do trecho simulado, com a indicação da mancha observada para cheia de 07/07/2014. Observa-se que este evento se aproxima de uma mancha de inundação com tempo de recorrência de 10 anos.

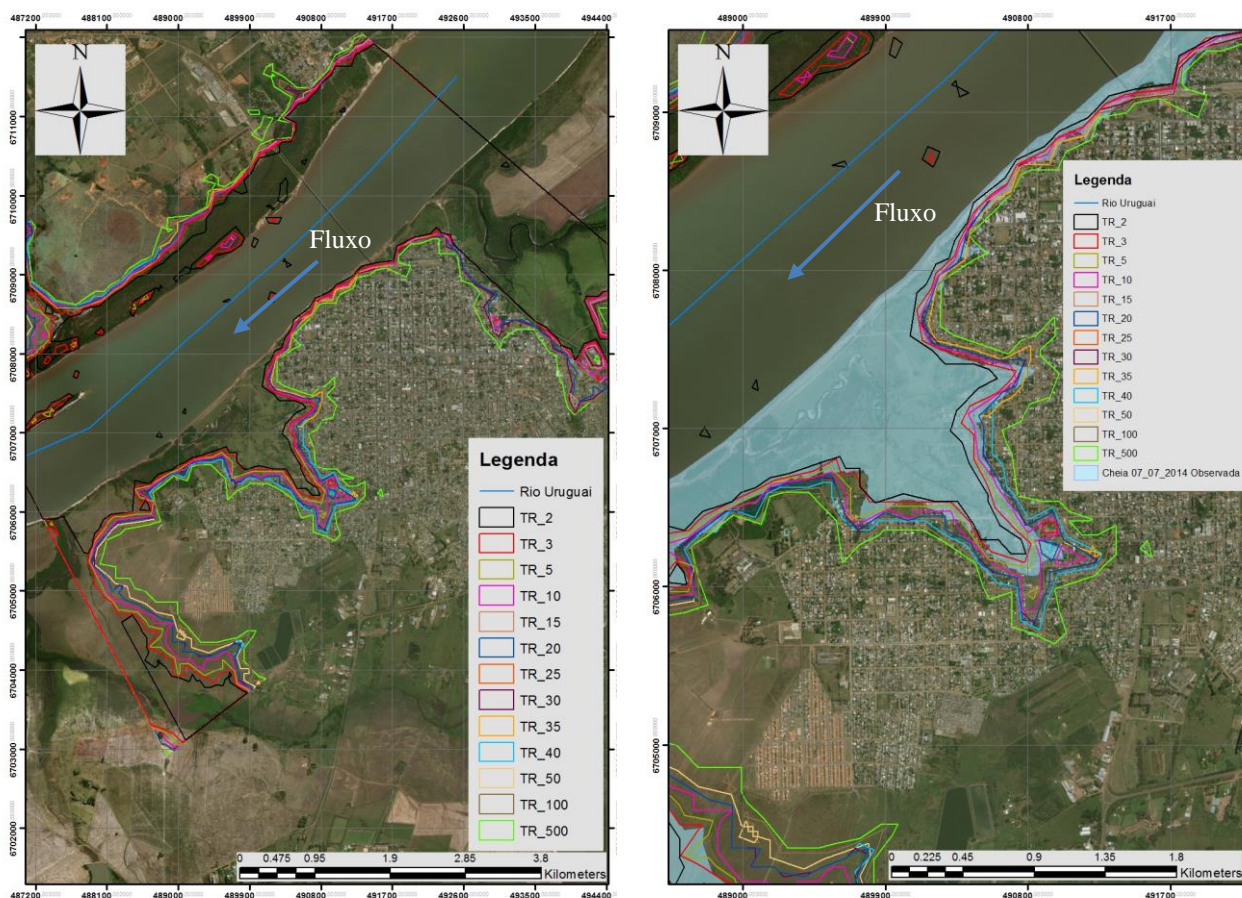


Figura 3 –Manchas de inundação obtidas para os tempos de retorno de 2, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 100 e 500 anos.

## 5 - CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou as vazões extremas para diferentes tempos de recorrência e as respectivas manchas de inundação associadas, obtidas a partir de simulação hidráulica com o modelo HEC-RAS em trecho de cerca de 7 km do rio Uruguai que passa pela cidade de Uruguaiana/RS, com informações topográficas limitadas.

A calibração do modelo foi realizada a partir da mancha de inundação registrada para cheia que ocorreu em 07/07/2014. O modelo digital de elevação foi baseado em imagens SRTM disponíveis gratuitamente no portal do projeto TOPODATA do INPE, com a calha do rio (batimetria) ajustada a partir de seção topobatimétrica disponibilizada para Estação Fluviométrica Uruguaiana no Portal Hidroweb da ANA. Os resultados indicaram possibilidade de emprego das referidas imagens associadas à dados limitados de uma seção topobatimétrica para processar simulações hidráulicas com o propósito de geração de manchas de inundação com fins de planejamento e macrozoneamento de áreas sujeitas a perigos de inundação.

Contudo, verificou-se que para obtenção de manchas de inundação com maior precisão, faz-se necessário dados topográficos complementares, com a inclusão de seções topobatimétricas



levantadas *in loco*, bem como o perfil de linha d'água para uma dada vazão de referência. Tais informações permitiriam maior precisão na delimitação de manchas de inundação.

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIMON, J. G. S.; (2017). *Análise Espaço-Temporal do Risco à Inundação na Área Urbana do Município de Uruguaiana/RS*. Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia, Santa Maria/RS, 109 p.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. (2017). *Hidroweb*, Brasília/DF. Disponível em: < <http://www.snirh.gov.br/hidroweb>>. Acesso em 01 de novembro de 2017.

BANCO MUNDIAL. (2012). *Avaliação de Perdas e Danos: Inundações Bruscas em Alagoas – Junho de 2010*. Relatório elaborado pelo Banco Mundial com apoio do Governo do Estado de Alagoas, Brasília/DF, 59 p.

BRASIL. (2012). *Anuário brasileiro de desastres naturais: 2012*. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres, Brasília/DF, 84 p.

BRASIL. (2013). *Portaria Interministerial n. 01 de 24 de Julho de 2013*. Ministério da Integração Nacional e Ministério das Cidades. Disponível em: < <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=25/07/2013&jornal=1&pagina=28&totalArquivos=104>>. Acesso em 26 de maio de 2018.

BRASIL (2007). *Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas*. Ministério de Minas e Energia, CEPEL, Rio de Janeiro/RJ, 684 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2015). *Perfil dos Estados e dos Municípios Brasileiros: 2014*. IBGE, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Rio de Janeiro/RJ, 126 p.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. (2011). *TOPODATA – Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil*. Disponível em: < <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>> Acesso em 05 de maio de 2018.

USACE - US ARMY CORPS OF ENGINEERS. (2008). *HEC-RAS Software*. Hydrologic Engineer Center, Davis, California.