

MAPEAMENTO DO PERIGO DE INUNDAÇÃO EM BACIA URBANA COM POUCOS DADOS HIDROLÓGICOS

Carolina Bastos Marques Lopes

Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ
Instituto de Geologia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
cbastoslopes@gmail.com

Francisco Dourado

Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ
Instituto de Geologia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
fdourado@cepedes.uerj.br

Lucio Silva de Souza

Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ
Faculdade de Oceanografia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
luciodesouza@gmail.com

RESUMO

Eventos extremos de chuva e cidades não planejadas reforçam a importância do mapeamento das inundações urbanas. Por outro lado, dados espaciais e meteorológicos disponibilizados por agências governamentais, não são compatíveis com o estudo de inundações e assim criam um cenário escasso de dados efetivamente medidos. Dessa forma, o presente trabalho objetiva mapear o perigo de inundações para bacia hidrográfica urbana (Rio Botas, Nova Iguaçu, Rio de Janeiro) com poucos dados disponíveis. O mapeamento é realizado por meio de modelos hidrológico e hidrodinâmico. Como a referida bacia não possui estação pluviométrica com série histórica robusta é implementada uma metodologia para selecionar uma estação representativa no seu entorno, sendo essa a estação meteorológica Ecologia Agrícola. O regime de chuva encontrado no estudo é compatível com os cenários de alerta da Defesa Civil, o que sugere que a metodologia é válida, nesse caso. Com relação às modelagens, independente da ausência de dados mais específicos o resultado foi considerado satisfatório, pois na validação empírica os pontos alagados foram os mesmos apresentados pelos agentes da Defesa Civil. Sendo assim, os resultados obtidos demonstram que é possível realizar um mapeamento de inundação satisfatório mesmo em bacias hidrográficas com escassez de dados.

Palavras-chave: Inundação urbana. Modelagem hidrológica. Modelagem de inundação.

URBAN BASIN FLOODING HAZARD MAPPING WITH LITTLE HYDROLOGICAL DATA

ABSTRACT

Extreme rain events and unplanned cities reinforce the importance of mapping urban floods. On the other hand, spatial and meteorological data provided by government agencies are not compatible with the study of floods and thus create a scarce scenario of effectively measured data. Thus, the present work aims to map the danger of flooding for urban watershed (Rio Botas, Nova Iguaçu, Rio de Janeiro) with little data available. Mapping is performed using hydrological and hydrodynamic models. As the aforementioned basin does not have a rainfall station with a robust historical series, a methodology is implemented to select a representative station in its surroundings, which is the Ecologia Agrícola meteorological station. The rainfall regime found in the study is compatible with the Civil Defense alert scenarios, which suggests that the methodology is valid in this case. Regarding the modeling, regardless of the absence of more specific data, the result was considered satisfactory, since in the empirical validation the flooded points were the same as those presented by the Civil Defense agents. Thus, the results obtained demonstrate that it is possible to carry out a satisfactory flood mapping even in watersheds with scarcity of data.

Keywords: Urban flooding. Hydrological modeling. Flood modeling.

INTRODUÇÃO

A expansão urbana no Brasil ocorreu de maneira acelerada e sem planejamento. Segundo dados dos Censos Demográficos brasileiros realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 1960 45% da população brasileira vivia em áreas urbanas, em 2010 esse valor alcançou 84%. Como resultado de uma cidade não planejada muitos locais inapropriados foram ocupados fazendo com que os cidadãos convivessem com sucessivos casos de inundações (DOS SANTOS JÚNIOR e SANTOS, 2014). A inundação urbana ocorre quando o processo de urbanização implantado na bacia hidrográfica altera o regime natural de inundação dos rios de modo a intensificar seus efeitos negativos sobre uma estrutura urbana ineficiente, alguns desses efeitos são: aumento da vazão máxima do rio e do volume do escoamento superficial, além da antecipação do pico de inundação. Esses efeitos são reflexos da retificação de rios, impermeabilização de superfícies e supressão da vegetação que são modificações ambientais comuns em centros urbanos (BOOTH e BLEDSOE, 2009; ASIÉDU, 2020). O aumento dos eventos extremos como consequência das mudanças climáticas provocará aumento na frequência e intensidade das inundações urbanas na maior parte do país. Dereczynski; Luiz Silva; Marengo, (2013) projetaram um aumento tanto na frequência quanto na intensidade das chuvas intensas até o final do século XXI, com as chuvas concentradas em períodos mais curtos (LYRA et al., 2018).

Com a junção do aumento dos eventos climáticos extremos no Brasil e uma alta densidade demográfica nas áreas urbanas, o mapeamento do perigo de inundação se faz necessário, já que mais cidadãos ficarão expostos a esse tipo de evento. Além do mapeamento de perigo ser uma ferramenta de gestão territorial importante para identificar as regiões onde a população e as estruturas urbanas são mais afetadas.

Para a confecção dos mapas de perigo para inundação são fundamentais dados físicos do terreno e de precipitação em escala adequada ao tamanho da bacia hidrográfica em análise. Apesar do Brasil possuir órgãos nacionais que disponibilizam dados físicos e hidrometeorológico para todo o território nacional, como o IBGE, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), a Agência Nacional de Águas (ANA), o Instituto Brasileiro de Meteorologia (INMET) e o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) a resolução dos dados disponibilizados não são compatíveis com o estudo de inundações urbanas.

Mediante ao que foi exposto, a proposta deste trabalho é mapear o perigo de inundações para a bacia hidrográfica urbana do rio Botas, localizada na cidade de Nova Iguaçu, estado do Rio de Janeiro que apresenta poucos dados disponíveis. O mapeamento foi realizado por meio de modelos hidrológico e hidrodinâmico. A referida bacia foi urbanizada e ocupada sem planejamento, como é o caso de diversas bacias hidrográficas brasileiras (SPRISSLER, 2011; STEVAUX et al, 2009).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As inundações são fenômenos físico-naturais que ocorrem rotineiramente nas margens dos rios durante a estação chuvosa. Inundação é a submersão de áreas para além do limite padrão de um curso de água para regiões que normalmente não se encontram submersas (COBRADE, 2012). O transbordamento ocorre de modo gradual, geralmente ocasionado por chuvas prolongadas na bacia hidrográfica. Com o avanço tecnológico, diferentes métodos para analisar terrenos sujeitos a inundações foram aplicados (SILVEIRA e ROBAINA, 2014; BARROS et al., 2016; FARIAS e MENDONÇA, 2019). Dentre as diversas técnicas de mapeamento está a modelagem que é uma representação simplificada da realidade, onde correlaciona dados de entrada e de saída por meio dos modelos.

O mapeamento de perigo realizado nesse trabalho segue a revisão sobre a definição de perigo realizada pela UNDRR/ISC SENDAI, 2020, assim nesse trabalho o perigo é um processo, fenômeno ou atividade humana que pode causar perda de vidas, lesões ou outros impactos à saúde, danos materiais, perturbação social e econômica ou degradação ambiental. Assim, a definição de perigo trata da ocorrência de um fenômeno natural ou não que gera dano em um espaço e tempo específicos.

Modelagem hidrológica

A modelagem hidrológica é utilizada para representar o todo ou partes do ciclo hidrológico. Atualmente, na literatura há uma gama de trabalhos que analisam a evolução da modelagem hidrológica, os tipos de modelos e suas aplicações adequadas (BECK, 1991; WEATHER, 2002; LIU; WANG; DUAN, 2017;

CLARK et al., 2017; SINGH, 2018). A modelagem hidrológica fornece, entre seus diversos resultados, o volume de água que irá compor o escoamento superficial, portanto é uma ferramenta útil no estudo de inundações (ANEES et al., 2016).

O Sistema de Modelagem Hidrológica (*Hydrological Modeling System*) (HEC-HMS) foi projetado para simular os processos de precipitação-escoamento de sistemas de bacias dendríticas (CHARLEY, 1995). Esse programa analisa uma ampla variedade de situações, como: o abastecimento de água de grandes bacias hidrográficas, inundações e pequenos escoamentos urbanos ou naturais das bacias hidrográficas (USACE, 2016). O HEC-HMS conecta os cálculos de perda de água, escoamento superficial com os dados meteorológicos para fornecer as informações de vazão para diferentes pontos da calha do rio.

No HEC-HMS o cálculo da perda representa a soma da infiltração, da evapotranspiração e a retenção da água em depressões. Diferentes métodos para simular as perdas são fornecidos, como: constante inicial, número da curva do SCS (Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos), *Green Ampt* e *Smith Parlange* (USACE, 2016). Sete métodos estão inclusos para transformar o excesso de precipitação em escoamento superficial, como os métodos do hidrograma unitário que incluem as técnicas de Clark, Snyder e SCS. Além disso, podem ser usados hidrogramas unitários especificados pelo usuário e o método ModClark (USACE, 2016).

A análise dos dados meteorológicos inclui radiação de ondas curtas, radiação de ondas longas, precipitação, evapotranspiração e derretimento da neve. Para as simulações de eventos simples, como a inundação urbana que ocorre na escala temporal de horas, é necessário apenas os dados de precipitação, enquanto a simulação contínua exige adicionalmente evapotranspiração (USACE, 2016). O HEC-HMS combina os modelos de cálculo de perda e vazão com o modelo meteorológico e as especificações de controle (tempo de simulação) para fornecer os dados de saída desejados pelo usuário.

Modelo CN-SCS

O modelo CN-SCS baseia-se no conceito de que o escoamento superficial produzido por um evento chuvoso é consequência do total precipitado menos a abstração inicial (perdas). Desse modo, este modelo calcula a chuva efetiva que é a porção que contribui diretamente para o escoamento superficial. A quantidade de massa de água perdida entre a chuva e a vazão se deve a capacidade de armazenamento de água (depressões, interceptações) e a intensidade de infiltração do solo.

Sendo assim, para o cálculo do escoamento direto ser aplicado de maneira simplificada foi elaborado o número da curva de escoamento superficial (CN), onde esse valor representa o escoamento superficial em função do grupo hidrológico do solo, uso da terra e dados de chuva (umidade antecedente). A umidade da bacia é estimada em função das chuvas que ocorreram antes do evento que será simulado. Apesar de sua simplicidade, esse modelo produz resultados tão bons quanto os de modelos complexos (LASTRA et al., 2008). Há uma vasta bibliografia contendo o arcabouço teórico desenvolvido na criação e aplicação desse modelo (MOCKUS e HJELMFELT, 1972; USDA-NRCS, 1986; WOODWARD et al., 2003; LIM et al., 2006; SOARES et al., 2017; VALLE; RODRIGUES; OLIVEIRA, 2019).

Modelo do Hidrograma Unitário do SCS

O modelo do hidrograma unitário do SCS calcula a vazão a partir da chuva efetiva. Esse modelo foi desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, a princípio para bacias rurais, mas com o avanço da urbanização foram adicionadas bacias urbanas ao estudo.

Sherman (1932) *apud* RAMÍREZ (2002) propôs o conceito do hidrograma unitário, que é o escoamento direto resultante do volume unitário de chuva excedente de intensidade constante e distribuição uniforme sobre a área de estudo. A chuva excedente é a porcentagem da precipitação que resulta em escoamento direto, logo não é contabilizado o volume de chuva que se transforma em infiltração e/ou outro fator de perda. Esse modelo apresenta simplificações para que o mesmo possa ser confeccionado

com menos dados hidráulicos, porém incorpora os principais pontos do hidrograma, como: vazão de pico, tempo de concentração, tempo de atraso e o tempo de ascensão do hidrograma (TUCCI, 2003). Esse modelo é adimensional, assim se modifica conforme as características físicas da bacia. Algumas dessas características são: tamanho, geomorfologia, geologia, declive, forma, quantidade de armazenamento, grau de canalização da rede de drenagem e grau de urbanização (NRCS, USDA, 2007).

Assim, para melhores ajustes entre os hidrogramas calculados e os medidos é possível modificar a relação entre os volumes de água nos seus ramos ascendente e descendente dos hidrogramas gerados. Essa relação entre os diferentes ramos do hidrograma é controlado pelo fator de pico (NRCS, USDA, 2007).

Outro fator utilizado nos cálculos de vazão é o tempo de concentração, ou seja, o tempo necessário para o escoamento se deslocar do ponto hidráulicamente mais distante na bacia hidrográfica até o exutório (NRCS, USDA, 2010). Nesse trabalho, a escolha da fórmula para o cálculo do tempo de concentração foi realizada baseada nos dados disponíveis e no trabalho de SILVEIRA (2005) que analisou 23 fórmulas de tempos de concentração para bacias hidrográficas urbanas e rurais.

A fórmula de Carter (1961) *apud* Silveira (2005) foi selecionada devido aos seguintes critérios: fórmula confeccionada para bacias urbanas, com comprimento dos rios/calhas menores que 12 km, inclinação menor do que 0,5° e bacias com áreas menores do que 21 km², conforme equação:

$$T_c = 0,0977L^{0,6S-0,2070}$$

Onde: T_c = tempo de concentração (h), L = comprimento da drenagem (km) e S = declividade da drenagem (m/m).

Os cálculos empregados no HEC-HMS foram retirados do documento TR-55 que apresenta as formulações para transformação da precipitação em vazão para pequenas bacias hidrográficas urbanas (NRCS, USDA, 1986), mas também há diferentes estudos que abordam as bases teóricas e práticas desse modelo (NRCS, USDA, 2007; MAJIDI et al., 2012; CUNHA; SILVA; MOTA, 2015; SOARES, 2017).

Modelagem hidrodinâmica

A modelagem hidrodinâmica fornece informações sobre as mudanças espaciais e temporais dos processos físicos que são analisados (HODGES, 2014). O HEC-RAS (*River Analysis System*) é um programa de modelagem hidrodinâmica projetado para executar cálculos hidráulicos unidimensionais, bidimensionais ou combinados para uma rede completa de canais naturais e construídos. O programa HEC-RAS foi desenvolvido em 1995 no Centro de Engenharia Hidrológica, que é uma divisão do *Institute for Water Resources*, do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (USACE, 2010).

Para a confecção dos cálculos hidráulicos o HEC-RAS utiliza as equações de Saint -Venant que se baseia em simplificações para a realização dos cálculos hidráulicos em duas dimensões. Sendo assim, o fluxo é considerado incompressível, com densidade uniforme e com pressão hidrostática constante (USACE, 2010).

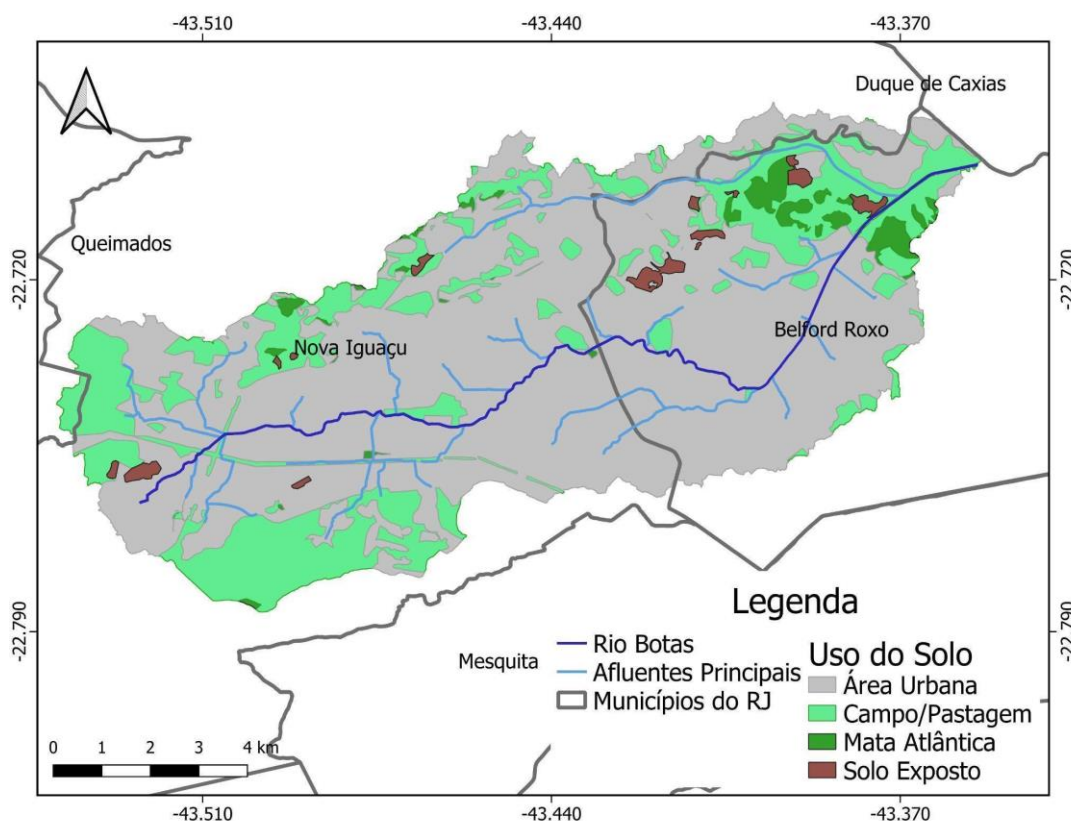
O modelo HEC-RAS apresenta resultados positivos em diversos trabalhos, como em mapeamento de regiões susceptíveis a inundações (BEN KHALFALLAH e SAIDI, 2018)), bacias urbanas e na comparação com outros modelos hidrodinâmicos (ALAGHMAND *et al.*, 2010; ALAGHMAND *et al.*, 2012).

METODOLOGIA

Área de estudo

A bacia do rio Botas (Figura 1) possui uma área de 117 km² e abrange parte dos municípios de Nova Iguaçu (64%), Belford Roxo (32%) e Queimados (4%), todos pertencentes à Região da Baixada Fluminense. O rio Botas nasce no município de Nova Iguaçu, percorre 23 km e deságua no rio Iguaçu em Belford Roxo.

Figura 1 - Baixada Fluminense (RJ): Bacia do rio Botas, afluentes e uso da terra, 2019.



Fonte - CID/SECPLAN, 1995 atualizado pelos autores.

Material

Para o pré-processamento dos dados de entrada dos modelos hidrológico e hidráulico, diferentes dados foram obtidos e confeccionados. Para o Modelo Digital de Elevação (MDE) foram utilizados os seguintes dados, na escala 1:10.000: hidrografia, áreas alagadas, curvas de nível com distância de 1 m, além de 21.109 pontos cotados. Os dados na escala de 1:10.000 foram fornecidos pela Defesa Civil de Nova Iguaçu, é usual que as prefeituras possuam dados topográficos detalhados do terreno municipal adquiridos para a realização de obras, mas também foram utilizados o mapa de uso e ocupação do solo de CID/SECPLAN (1995) que analisou a bacia do rio Iguaçu e o mapa dos tipos de solo da Embrapa na escala de 1:250.000 (2018).

Os dados de precipitação foram obtidos de duas fontes: três estações do CEMADEN com registros de chuva de 2014 até 2017, com resolução temporal de 15 min; e uma estação meteorológica, Ecologia Agrícola, do INMET, com resolução temporal horária. Também foram obtidos os dados de altura da lâmina d'água da estação fluviométrica GBM pertencente ao Instituto Estadual do Ambiente (INEA). Para a confecção do mapa de perigo foram usados os dados do Censo Demográfico brasileiro de 2010 realizado pelo IBGE.

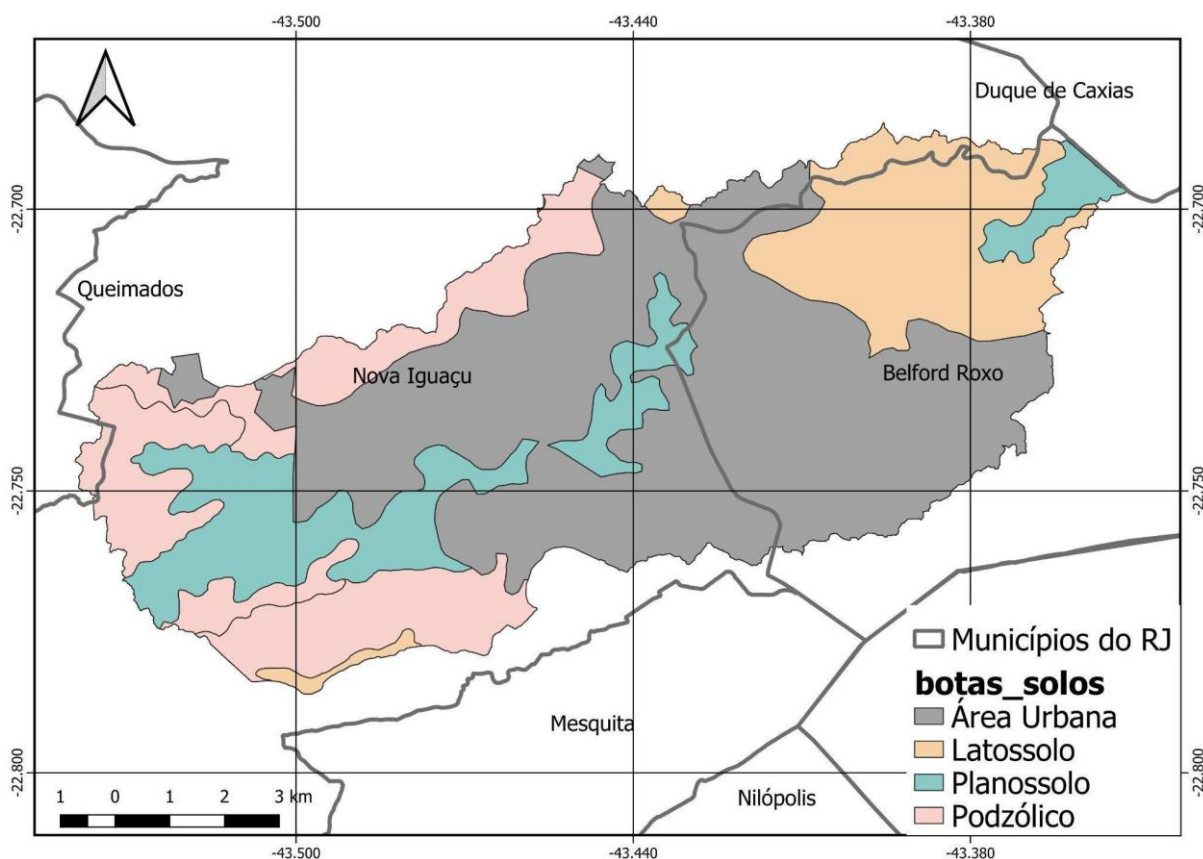
Método

Modelagem Hidrológica

Para a obtenção e confecção dos dados necessários à modelagem foi confeccionado um MDE com resolução de 1m e um mapa de uso e ocupação do solo. A preparação do mapa foi manual para um

resultado detalhado na escala de 1:10.000, para isto foram utilizadas as mesmas classificações de CID/SECPLAN (1995) (Figura 1). Além de utilizar o mapa pedológico da Embrapa sem nenhuma modificação (Figura 2).

Figura 2 - Baixada Fluminense (RJ): Mapa pedológico da bacia do rio Botas, 2019.



Fonte - Embrapa, 2018.

Para a modelagem hidrológica foi utilizado o programa HEC-HMS cujos resultados alimentaram a modelagem hidrodinâmica, onde foi utilizado o programa HEC-RAS. No HEC-HMS os dados de entrada são divididos em três partes: a representação física da bacia, a descrição meteorológica e a simulação hidrológica.

Para a representação física da bacia, o primeiro passo foi a confecção do MDE para a obtenção dos dados topográficos. As etapas posteriores são: 1) divisão da bacia do rio Botas em sub-bacias; 2) criação dos nós das sub-bacias com a calha do rio Botas para o cálculo das vazões; 3) escolha dos modelos para os cálculos de chuva efetiva e vazão; 4) inserção dos dados de entrada dos modelos selecionados na etapa anterior; 5) criação dos cenários de chuva e 6) inserção das especificações de controle para a simulação hidrológica.

Na etapa 3 foram empregadas soluções de modelagem do SCS. Para o cálculo da chuva efetiva foi utilizado o método CN-SCS, para isso é necessário fornecer os valores de CN e a taxa de impermeabilização do solo por sub-bacia. Como já mencionado, o CN é calculado em função do tipo de solo, precedente de chuva e uso do solo.

O primeiro passo é classificar o tipo de solo encontrado na bacia do rio Botas em função dos grupos hidrológicos já estabelecidos para o modelo, estes grupos são apresentados em NRCS-USDA (1986). Os solos encontrados na área de estudo, por meio do mapa pedológico da Embrapa, foram confrontados com essas definições e alocados dentro dos grupos mais correlacionáveis. Para uma melhor correspondência foram utilizados os artigos de Carvalho Filho, Lumberras e Santos (2000) e da

EMBRAPA (2006). O outro critério para o cálculo da infiltração é a chuva antecedente que é apresentada em três classes: I – para condições secas, II para condições médias e III para condições úmidas (MOCKUS e HJELMFELT, 1972). Nesse trabalho foi utilizada a classe II, pois as inundações, na bacia do rio Botas, se desenvolvem no verão onde as chuvas são recorrentes. Depois de selecionar o grupo hidrológico a cada qual tipo de solo pertence e associar o uso da terra na bacia do rio Botas aos usos estabelecidos pelo SCS é possível obter os valores de CN.

Os valores de CN foram calculados para cada sub-bacia. Pelo fato de cada sub-bacia possuir mais de uma pedologia e tipo de uso do solo foi realizada uma média ponderada. Nessa média, a área de cada conjunto de pedologia e uso do solo foi somada e dividida pela área da sub-bacia. Para o cálculo da vazão foi selecionado o modelo do hidrograma unitário do SCS. Para os cálculos foram inseridos o *lag time* (6% do tempo de concentração) e o fator de pico.

Modelagem hidrodinâmica

Os dados gerados para a modelagem hidrológica são os mesmos utilizados na modelagem hidrodinâmica, como: o MDE na escala de 1 m, mapa de uso e cobertura do solo para espacialização dos valores de *Manning* e o mapa fluvial com o rio Botas e os afluentes principais. Todas as modelagens serão feitas em duas dimensões (2D) com uma malha irregular de 5 m.

Cenários de chuva

Das oito estações pluviométricas instaladas na área analisada, somente três apresentaram dados de chuva que se sobreponham aos dados de altura da lâmina d'água registrada na estação fluviométrica GBM, localizada no centro de Nova Iguaçu. Esse fato ocorreu devido às descontinuidades e falhas nas séries históricas das estações pluviométricas utilizadas, que são: Palhada em Nova Iguaçu, Nova Aurora e Jardim ocidental em Belford Roxo (Quadro 1).

Quadro 1 - Nova Iguaçu e Belford Roxo (RJ): Estações pluviométricas com suas respectivas séries históricas, porcentagem de falha, instituição responsável e localização.

Estação	Série Histórica	% Falha	Instituição	Local
Palhada	2014 - 2017	18	Cemaden	Nova Iguaçu
Jd. Ocidental	2014 - 2017	6	Cemaden	Nova Iguaçu
Nova Aurora	2014 - 2017	16	Cemaden	Belford Roxo

Fonte - Os autores, 2019.

Os dados dessas estações foram utilizados para calibrar e validar os modelos, porém devido às séries históricas curtas (2014 – 2017) não puderam ser usados no estudo do padrão de chuva local e, conseqüentemente, para a criação dos cenários de precipitação. Para suprir essa lacuna nos dados, iniciou-se a avaliação das estações pluviométricas/meteorológicas mais próximas com uma resolução temporal satisfatória (no máximo horária) e nas mesmas condições geomorfológicas que as estações na área de estudo.

Para esse fim os seguintes critérios foram analisados: distância da estação para a área da bacia, existência de bloqueio orográfico entre a estação e a bacia, a proximidade da estação com a escarpa da Serra do Mar e com o litoral por serem fatores geográficos que podem modificar o regime de chuva na região (ANDRÉ et al., 2008; SOBRAL et al., 2018). Assim foi selecionada a estação meteorológica Ecologia Agrícola do INMET com resolução temporal horária e série histórica de 15 anos (2003 – 2017).

Em relação aos dados fluviométricos há duas estações do INEA no rio Botas, uma em Nova Iguaçu e outra em Belford Roxo, porém somente a estação de Nova Iguaçu está em funcionamento com dados de 2014 – 2018. Devido ao início da série das estações pluviométricas do Cemaden ser em 2014 o número de eventos de inundação registrados sobrepostos pelos dados de chuva são limitados.

Mapa de Perigo de Inundação

Após a confecção das manchas de inundação, essas foram sobrepostas aos dados do Censo Demográfico do Brasil de 2010 para que fosse verificado quantas pessoas e imóveis foram afetados. Como as informações são disponibilizadas em função dos setores censitários quando um desses não foi totalmente inundado, foi verificada a sua porcentagem e essa foi empregada no cálculo de quantas pessoas /imóveis foram afetados pela inundação. Esse método foi utilizado para que não houvesse superestimação das pessoas/estruturas atingidas.

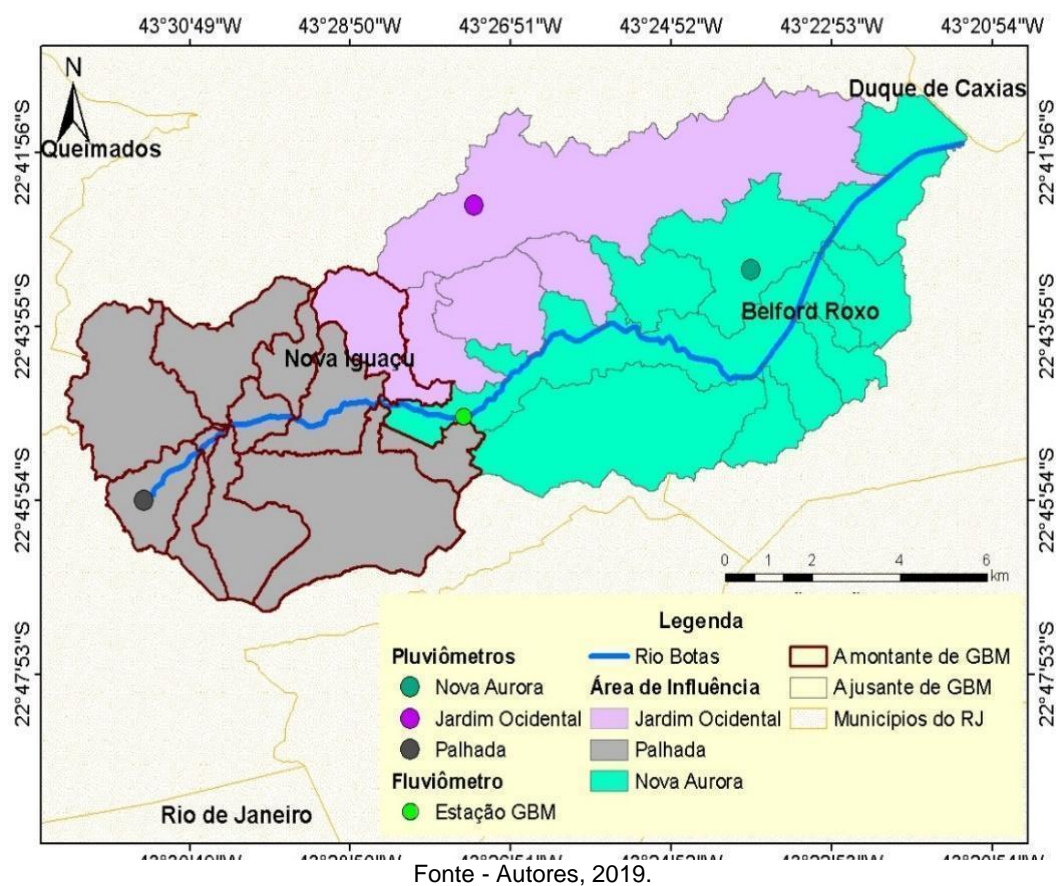
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Modelagem Hidrológica

Como apresentado anteriormente o rio Botas possui somente um fluviômetro em funcionamento, logo só foi possível calibrar um ponto da bacia, dessa forma as sub-bacias a montante da estação GBM tiveram seus valores alterados em função dos dados da estação GBM. As sub-bacias à jusante tiveram seus valores iniciais modificados em função das características físicas similares com as sub-bacias à montante (Figura 3).

Como o modelo é semi-distribuído é possível selecionar diferentes estações pluviométricas para sub-bacias distintas. Visando suprir a ausência de pluviômetros na área foi formulada uma zona de influência de cada estação, onde foi definida em função da menor distância entre o centro de massa da sub-bacia e a estação pluviométrica (Figura 3).

Figura 3 - Baixada Fluminense (RJ): Bacia do rio Botas com as sub-bacias, localização da estação fluviométrica GBM e as zonas de influência por pluviômetro.



Os eventos escolhidos para calibração e validação foram selecionados em função da altura do nível da água registrado. Todos os eventos possuem nível de no mínimo 1,4 m, pois a altura padrão da água na calha do rio Botas é menor que 50 cm, segundo análise dos dados fluviométricos fornecidos pelo INEA. Assim, foram selecionados quatro eventos para calibração e três para validação.

Para calibrar o modelo CN-SCS foram modificados os parâmetros: taxa de impermeabilidade e CN. O valor de CN foi o valor mais alterado, pois a escala do mapa de tipo de solo fornecido pela Embrapa não é compatível com o objetivo do estudo. Em relação ao modelo do hidrograma unitário foram calibrados o *lag time* e o fator de pico (Tabela 1).

Tabela 1 - Nova Iguaçu (RJ): Apresenta os valores de impermeabilidade inicial e calibrado; e valores de CN iniciais e calibrados por sub-bacia a montante da estação GBM, 2019.

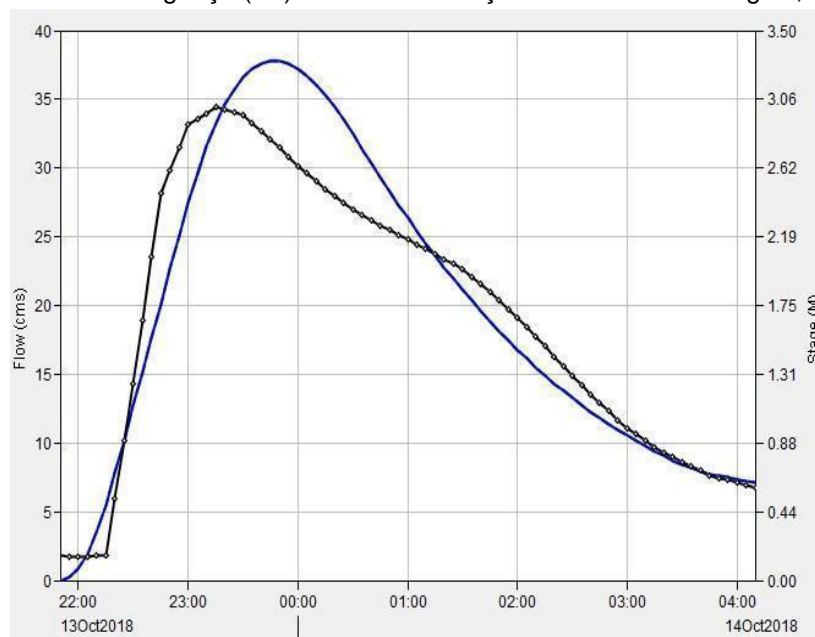
Bacia	Impermeabilidade Inicial	Impermeabilidade de Calibrada	CN Inicial	CN Calibrado	Lag Time Calculado (h)	Lag Time Calibrado (h)
Sub-bacias a montante	35,65%	22%	50,98	13	2,36	1,52
	94,11%	80%	5,28	12	3,36	1,5
	62,38%	52%	30,29	10	2,46	1,55
	56,94%	43%	32,92	9,8	2,2	1,47
	73,01%	63%	21,3	10,8	2,58	1,42
	62,55%	51%	27,85	10	2,48	1,55
	60,33%	50%	31,78	11	5,39	1,53
	40,54%	30%	48,56	11	2,32	1,53
	83,77%	73%	13,28	23,8	2,59	1,67

Fonte - Autores, 2019.

Para o cálculo da taxa de impermeabilidade foram utilizados os valores de áreas urbanas extraídos do mapa de uso e ocupação do solo. O método de confecção manual deste mapa se mostrou satisfatório já que as diferenças entre os valores de impermeabilidade iniciais e calibrados são pequenas.

Em relação às validações, no primeiro evento os ramos ascendentes e descendentes do hidrograma estão ajustados. Houve uma pequena diferença no tempo de pico em meia hora e na altura da água em menos de 0,5 m (Figura 4). No segundo, as diferenças entre os tempos de pico são de 40 min e das alturas é por volta de 40 cm (Figura 5). No terceiro, os picos medidos e calculados foram correspondentes (Figura 6).

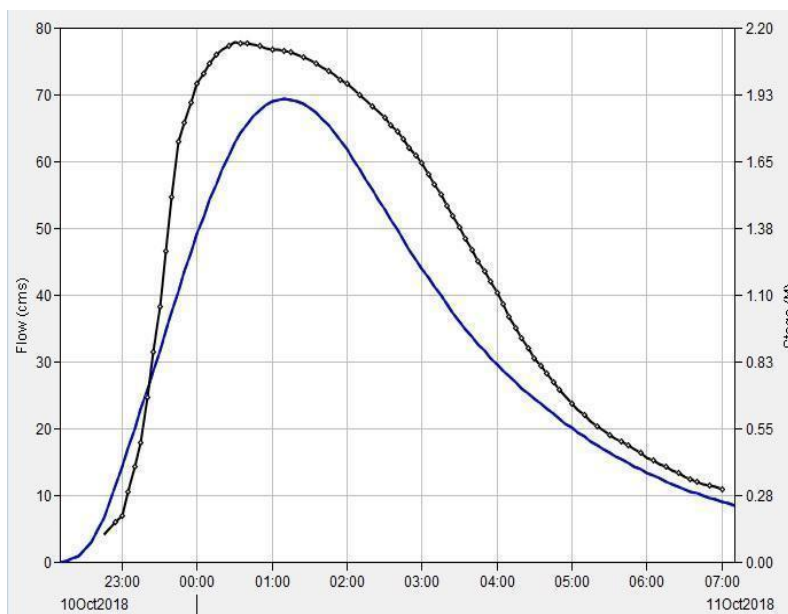
Figura 4 - Nova Iguaçu (RJ): Primeira validação do modelo hidrológico, 2019.



Fonte - Os Autores, 2019.

Legenda: valores observados em linha preta e os valores calculados em linha azul.

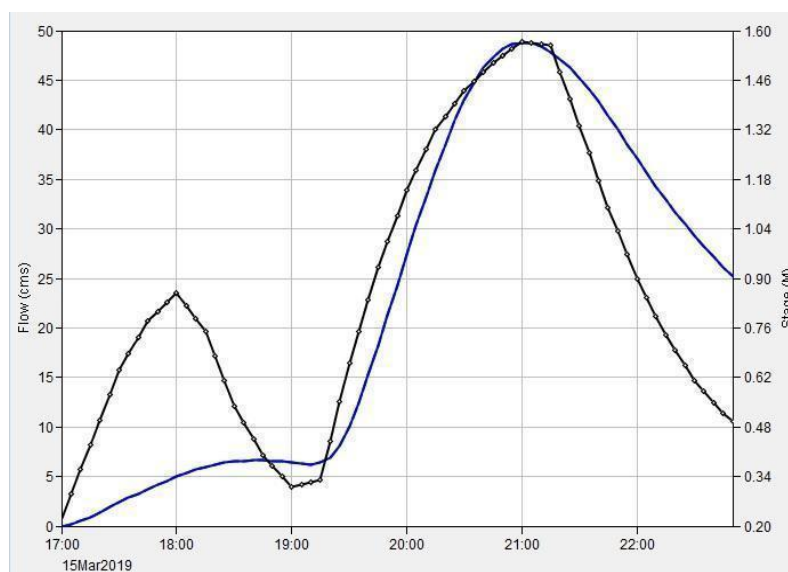
Figura 5 - Nova Iguaçu (RJ): Segunda validação do modelo hidrológico, 2019.



Fonte - Os autores, 2019.

Legenda: valores observados em linha preta e os valores calculados em linha azul.

Figura 6 - Nova Iguaçu (RJ): Terceira validação do modelo hidrológico, 2019.



Fonte - Os autores, 2019.

Legenda: valores observados em linha preta e os valores calculados em linha azul.

Modelagem Hidrodinâmica

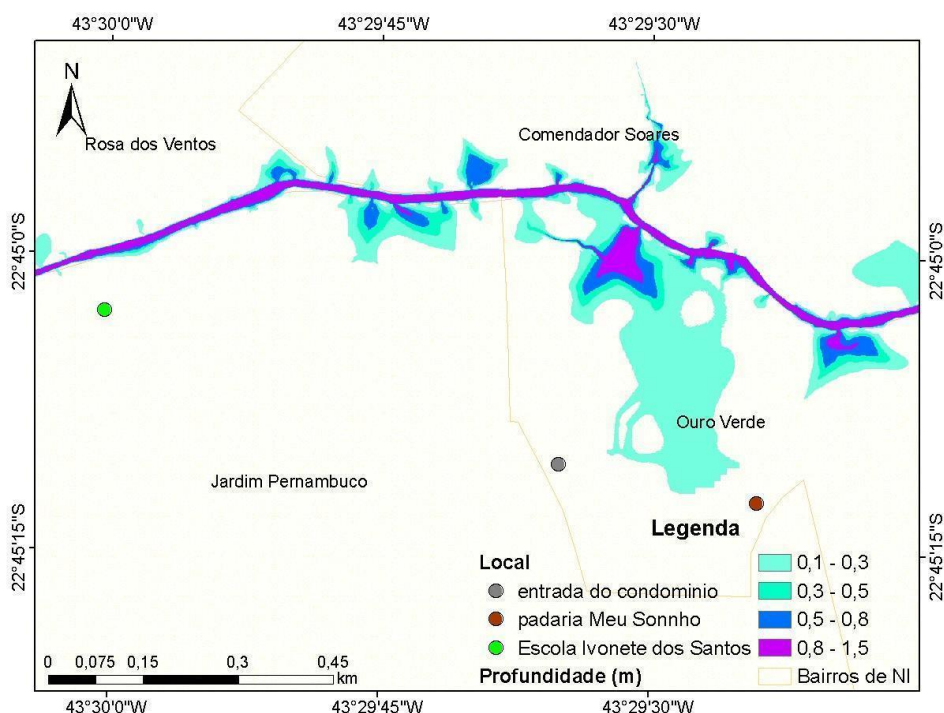
Para calibrar e validar a modelagem hidrodinâmica foram solicitados boletins de ocorrência da Defesa Civil de Nova Iguaçu com registros de inundações, porém esses registros não apresentavam dados como dia do evento, local e o nível da água. Devido à limitação de dados, foram confeccionados quatro eventos para calibração, onde em três casos foram calibrados somente os valores referentes a calha do rio por meio da série histórica da estação fluviométrica GBM e uma calibração empírica para a planície de inundação por meio dos relatos dos agentes de campo da Defesa Civil de Nova Iguaçu.

Na calibração foram ajustados, principalmente, os valores de *Manning* tanto para a calha do rio, onde foi alterado de 0,3 para 0,2 quanto para a planície de inundação com valor inicial de 0,018 e calibrado para 0,016. Devido a limitação dos dados não foi possível realizar uma validação a partir de pontos inundados então a mesma foi realizada de maneira empírica.

Por meio das observações dos agentes da Defesa Civil foi constatado que um dos lugares que apresenta maior recorrência de inundações do rio Botas é o condomínio Ouro Preto, no bairro Ouro Verde em Nova Iguaçu. Com chuvas de 30mm/h houve registros de inundações com lâmina d'água de no máximo 50 cm. Na reprodução desse cenário de chuva, com dados medidos nas estações pluviométricas do CEMADEN, somente o ponto indicado pela Defesa Civil foi inundado (Figura 7).

A entrada do condomínio e a escola municipal Ivonete dos Santos foram os pontos indicados como limites da inundação. Desse modo, o resultado da validação foi considerado positivo, pois toda a área inundada se encontra dentro da região apontada por agentes da Defesa Civil e a profundidade da lâmina d'água, em sua maior parte, se encontra por volta de 50 cm.

Figura 7 - Nova Iguaçu (RJ): Pontos inundados no evento de validação da modelagem hidrodinâmica, 2019.



Fonte - Autores, 2019.

Devido à ausência de dados para validar o valor de Manning na planície de inundação foi realizada uma investigação para verificar a sua influência na dimensão da mancha de inundação. Assim, foram realizados dois testes: um com a metade do valor de Manning original (0,008) e o outro com o dobro do seu valor inicial (0,32).

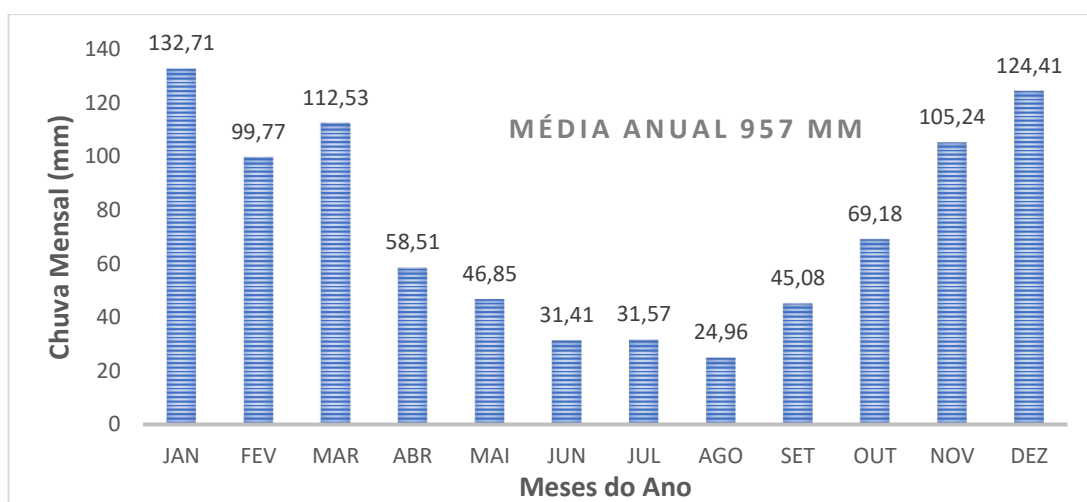
A área inundada com o valor de Manning de 0,008 possui 2,83 km² e com o valor de 0,32 possui 3,44 km². Como o valor da área inundada para o modelo inalterado é de 2,87 km², as diferenças entre os modelos inicial e os modificados são menores do que 0,6 km². Esses valores revelam que mesmo se houver subestimação ou superestimação do valor de Manning para a área urbana, a sua diferença dentro do intervalo analisado não modifica de maneira significativa o resultado. Assim, os valores de Manning para o canal e para a planície de inundação foram mantidos.

Precipitação

O estudo da série histórica da estação meteorológica Ecologia Agrícola revela que a chuva acumulada anual média é de 957 mm. O período chuvoso é entre novembro - março, com mais de 100 mm por mês, o que representa 63% de toda a chuva acumulada anual. O período seco está no intervalo de abril – agosto com menos de 100 mm de chuva por mês e engloba 37% de toda a chuva acumulada anual (Figura 8).

Os cenários de inundação desenvolvidos nesse trabalho foram comparados com o protocolo de alerta utilizado pela Defesa Civil de Nova Iguaçu (Tabela 2). Esse protocolo foi confeccionado com os dados pluviométricos das estações localizadas em Duque de Caxias e calibradas para Nova Iguaçu por meio do conhecimento empírico dos agentes de campo da Defesa Civil.

Figura 8 - Seropédica (RJ): Informação da quantidade de chuva por mês da estação Ecologia Agrícola, 2019.



Fonte - INMET, 2019.

Tabela 2 - Nova Iguaçu (RJ): Protocolo de alerta da Defesa Civil de Nova Iguaçu, 2020.

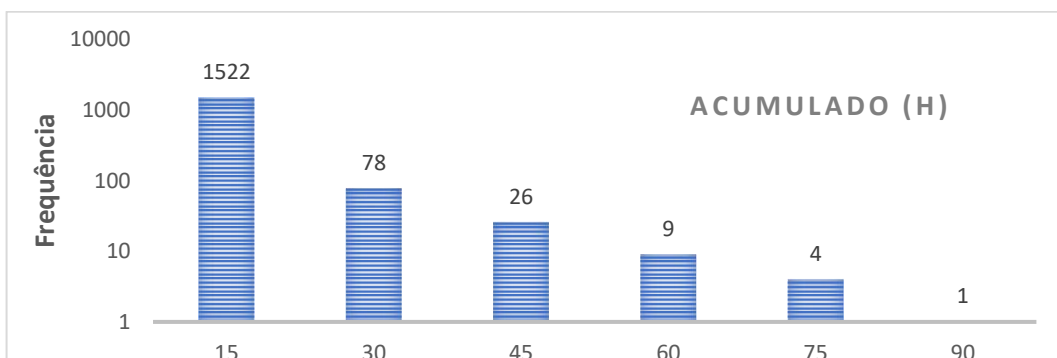
Duração/Estágio	TR (anos)	15 min	1h	4/6h	12h	24h
		Precipitação (mm)				
Risco Muito Baixo		Sem previsão de chuva forte				
Risco Baixo	menor que 2	até 15	até 40	até 60	até 70	até 80
Risco Moderado	entre 2 e 10	15-30	40-65	60-90	70-115	80-135
Risco Alto	entre 10 e 20	30-35	65-75	90-105	115-135	135-165
Risco Muito Alto	maior que 20	>35	>75	>105	>135	>165

Legenda: TR- tempo de retorno.

Fonte - Defesa Civil De Nova Iguaçu, 2020.

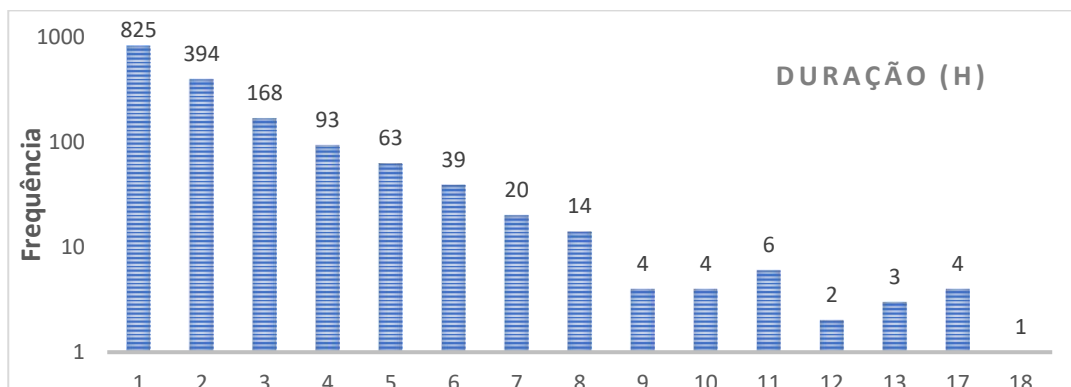
Na análise dos dados de chuva foram selecionados somente os valores referentes ao verão (janeiro, fevereiro e março), que segundo o conhecimento empírico dos agentes da Defesa Civil, é o período onde ocorrem as inundações do rio Botas. Com a base de dados disponível, neste trabalho, considerou-se evento chuvoso como chuva sem intervalo igual ou maior a uma (1) hora. Por meio da análise da série histórica foram selecionados dois conjuntos de dados que recriam as características das chuvas típicas do verão, para isto foram analisados 1.641 eventos, onde foram verificadas a duração, o acumulado e o valor máximo em função da frequência dos eventos (Figuras 9, 10 e 11).

Figura 9 - Seropédica (RJ): Histograma dos acumulados de chuva medidos por evento chuvoso no verão, 2019.



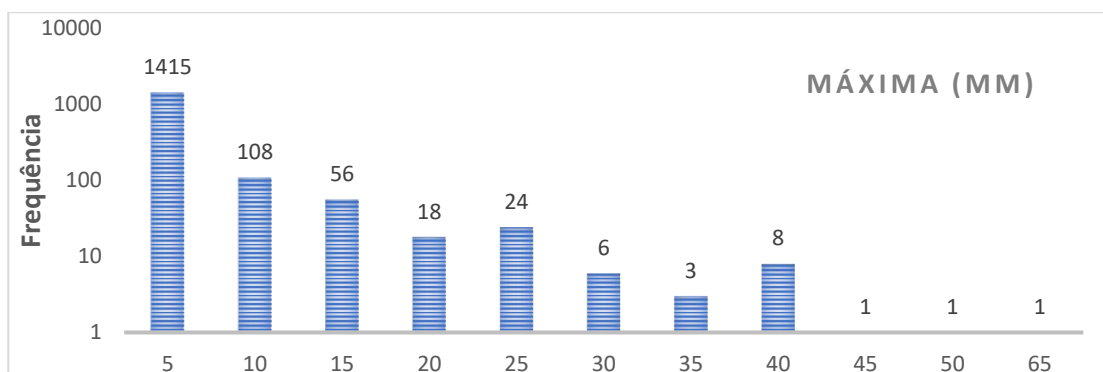
Fonte - INMET, 2019.

Figura 10 - Seropédica (RJ): Histograma da duração da chuva por evento chuvoso para o verão, 2019.



Fonte - INMET, 2019.

Figura 11 - Seropédica (RJ): Histograma com os máximos de chuva medida por evento chuvoso no verão, 2019.



Fonte - INMET, 2019.

O primeiro cenário foi confeccionado com os valores máximos do verão, portanto é um evento com duração de 18 h, acumulado de 140 mm e máximo de 66 mm/h. Para a confecção do segundo regime de chuva característica da região, os dados foram separados em dois grupos em relação à frequência, os 50% mais e menos frequentes. Os valores mais recorrentes no primeiro grupo dos 50% mais frequentes apresentariam um evento chuvoso pouco intenso para o estudo de inundação. Nesse caso, foram selecionados os valores mais frequentes dentro do grupo com menor frequência, portanto, suas características são: duração de 11 h, acumulado de 90 mm com um máximo de 40 mm. A Tabela 3 apresenta um resumo dos cenários de chuva encontrados neste trabalho com os da Defesa Civil.

Tabela 3 - Nova Iguaçu (RJ): Resumo dos cenários de chuva utilizados.

Cenários	Duração (h)	Máximo (mm/h)	Acumulado (mm)	Fonte
Baixo	24	40	80	Defesa Civil de NI
Cenário 2	11	40	90	Este trabalho
Moderado	24	65	135	Defesa Civil de NI
Cenário 1	18	66,2	139,8	Este trabalho
Alto	24	75	165	Defesa Civil de NI

Fonte - Os autores, 2019.

Por meio da Tabela 3 é possível verificar que os cenários encontrados na análise da estação Ecologia Agrícola são compatíveis com os utilizados pela Defesa Civil. Os valores absolutos utilizados no protocolo da Defesa Civil são relativamente maiores do que os propostos neste trabalho, porém a duração da chuva também é maior o que faz com que a mesma seja menos intensa. **Nesse sentido**, os cenários de chuva propostos nesse trabalho são condizentes com os cenários de alerta moderado e alto do protocolo utilizado pela Defesa Civil, dessa maneira, foram utilizados nas confecções dos mapas de perigo.

Mapeamento de Perigo

Com o objetivo de relacionar as inundações aos transtornos e perdas que a mesma causa, delimitou-se diferentes zonas de perigo para diferentes profundidades de lâmina d'água. Primeiro foi realizado um levantamento da perda de bens materiais em função da profundidade da lâmina d'água.

Para realizar esse levantamento relacionou-se a altura padrão dos móveis e eletrodomésticos com a altura da inundação. Assim, quando a água alcançou a metade da altura do móvel ou eletrodoméstico foi considerada a perda, seja total ou parcial (Quadro 2).

Para verificar os transtornos causados à circulação das pessoas foi realizada uma associação entre a profundidade da inundação e a parte do corpo humano que essa água alcança. Esse cálculo foi realizado para uma pessoa com altura de 1,65 m, pois a média de altura do homem brasileiro é de 1,70 m e da mulher é de 1,60 m (Cavalcante, 2009). Após, foi realizado um levantamento dos elementos expostos à inundação por meio do Censo Demográfico do Brasil de 2010.

Quadro 2 - Nova Iguaçu (RJ): Perdas e transtornos em função da altura da lâmina d'água.

Profundidade da água de inundação (cm)	Pessoa	Objetos
12	Tornozelo	Sem perda material
50	Joelho	Parte elétrica, cama, sofá
80	Quadril	Fogão, guarda-roupa, cômoda
Maior que 80	Acima do quadril	Todos acima

Fonte - Os autores, 2019.

Seguindo os critérios acima, neste trabalho, o intervalo de profundidade da água de 1 cm a 12 cm é chamado de perigo baixo. Isso indica o início da inundação e provoca um pequeno transtorno na

locomoção de pedestres. O intervalo de 12 cm a 50 cm é chamado de perigo médio, pois com a água na altura do joelho a locomoção dos pedestres é prejudicada. Araújo et al. (2014) realizaram um levantamento sobre a morte de idosos por quedas e cerca de 30% morreram por quedas da própria altura, por escorregar, dar “passos em falso” e tropeçar. Essas são situações que podem ocorrer com pessoas que tentam passar por áreas inundadas.

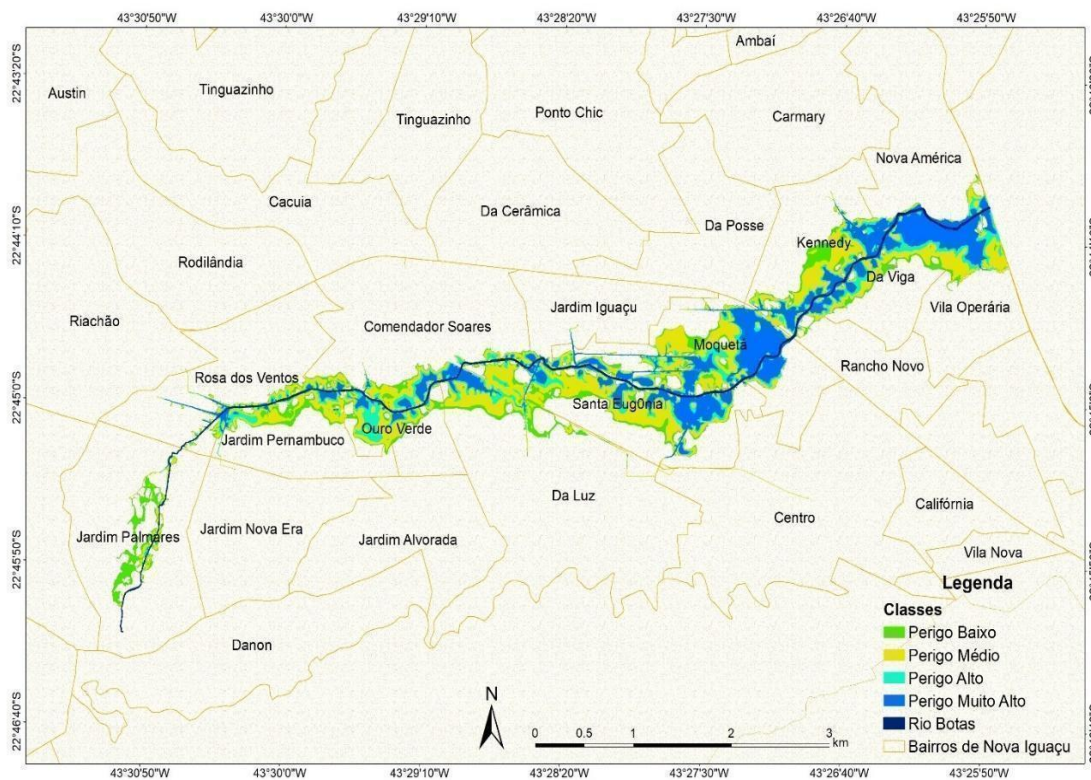
O intervalo de 50 cm a 80 cm é o grau de perigo alto, pois a água na altura do quadril dificulta uma locomoção segura dos pedestres e automóveis. O intervalo acima de 80 cm é o grau de perigo muito alto, pois impede a circulação da maioria dos automóveis e dificulta muito a circulação de pedestres. Nesse cenário o socorro às vítimas é comprometido, tendo em vista que são necessários equipamentos de resgate especiais, como barcos.

Mapeamento de perigo do cenário 1

A Figura 12 apresenta as zonas de perigo para o cenário 1. Por meio dessa infere-se uma predominância dos graus de perigo médio e muito alto, exceto no bairro Jardim Palmares em que há uma predominância do perigo baixo. Esse fato pode ser explicado pela inclinação mais acentuada do terreno que facilita o escoamento da água.

Dentre os quinze bairros analisados, há predomínio do grau médio em nove e do grau muito alto em cinco, o único bairro com preponderância do perigo baixo é o Jardim Palmares. Logo, nesse cenário catorze dos quinze bairros analisados possuem a maior parte da inundação com potencial de perda material e humana.

Figura 12 - Nova Iguaçu (RJ): Mapa de perigo para o cenário 1, 2019.

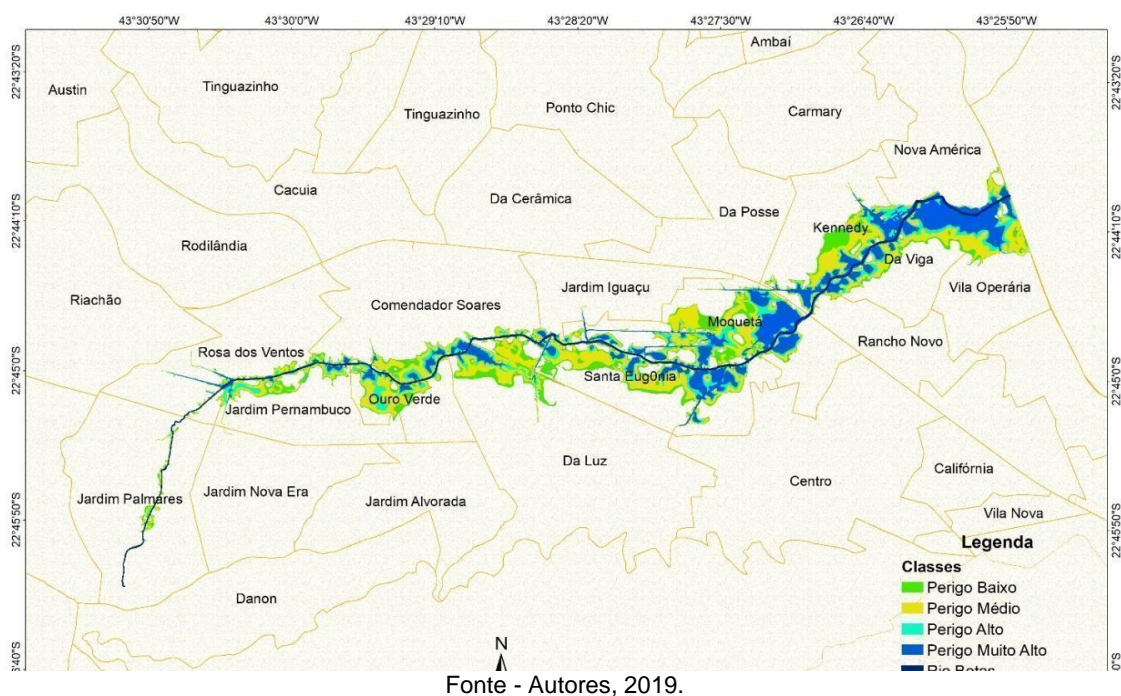


Fonte - Autores, 2019.

Mapeamento de perigo do cenário 2

A Figura 13 apresenta as zonas de perigo para o cenário 2. Nesse cenário a inundação em Jardim Palmares se concentra ao longo das margens do rio Botas até o bairro Jardim Pernambuco. Na zona inundada predominam os perigos baixo e médio.

Figura 13 - Nova Iguaçu (RJ): Mapa de perigo para o cenário 2, 2019.



Fonte - Autores, 2019.

A partir de Comendador Soares, os perigos de graus alto e muito alto passam a ser mais recorrentes com predomínio nos bairros Moquetá e Da Viga. A maior parte da inundação tem o grau de perigo médio, pois são onze bairros com a maior parte da área inundada com grau médio, seis com grau muito alto e um com grau baixo. O perigo alto não predomina em nenhum dos bairros.

Comparação entre os cenários de perigo de inundação

A Tabela 4 apresenta os elementos expostos, como domicílios e habitantes, esses dados foram retirados do Censo de 2010. Também são apresentados os números de vulneráveis (crianças e idosos) afetados pelas inundações. Há dados em relação a edificações como escolas e prédios vinculados à área da saúde.

Verifica-se que o número de pessoas afetadas varia intensamente conforme o cenário e o grau de perigo, pois há relação direta com a densidade demográfica de cada bairro e a porcentagem de área inundada. Em relação às edificações, não há alteração significativa no total de escolas atingidas pelos diferentes cenários de inundação. Os maiores contrastes estão na relação dessas escolas com o grau de perigo.

A maioria das escolas estão em regiões com graus de perigo médio e muito alto, o que prejudica o seu funcionamento, de modo que pode impossibilitar totalmente as suas atividades. Além das escolas diretamente atingidas pela inundação há as que ficam ilhadas, fato que também prejudica o seu funcionamento, pois alunos e funcionários não conseguem adentrar nos edifícios. Em relação aos prédios vinculados à secretaria municipal de saúde, somente três foram afetados: uma clínica da família, o prédio da secretaria e um posto de saúde.

Tabela 4 - Nova Iguaçu (RJ): Áreas inundadas e os elementos expostos aos dois cenários de inundação, 2019.

Cenário	Nível de perigo	Área (km ²)	Domicílios	Habitantes		Edificações “especiais”		
				Vulneráveis	Moradores	Escolas	Escolas Ilhadas	Prédios da Saúde
1	Muito Alto	109	3630	3250	12594	7	3	0
	Alto	51	1711	1560	5947	4		2
	Médio	134	4762	4272	16520	10		0
	Baixo	50	1815	1657	6361	2		1
	Total	344	11918	10739	41422	23		3
2	Muito Alto	87	2914	2615	10123	5	3	1
	Alto	47	1550	1408	5385	2		1
	Médio	114	3957	3557	13721	12		1
	Baixo	35	1485	1329	5150	3		0
	Total	283	9906	8909	34379	22		3

Fonte - Os autores, 2019.

CONCLUSÕES

Em um cenário de alto índice demográfico e com diferentes estudos que indicam a intensificação de eventos climáticos extremos no Brasil, com o aumento de chuvas em diversas regiões, o mapeamento do perigo de inundação urbana é um importante instrumento para a gestão territorial, pois localiza onde estão os cidadãos e construções mais afetados.

Desse modo, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um mapeamento do perigo de inundação em área urbana com poucos dados, pois esta é a situação de muitas bacias hidrográficas brasileiras apesar de instituições como IBGE, EMBRAPA, ANA, INMET e CEMADEN disponibilizarem dados a nível nacional, porém tais dados possuem resolução não compatível com o estudo do perigo de inundação urbana. Assim, o mapeamento foi realizado na bacia do rio Botas (Nova Iguaçu, Rio de Janeiro) por meio de modelagens hidrológica e hidrodinâmica.

Em relação às modelagens foram verificadas na literatura modelos hidrológicos que necessitam de poucos dados, mas que apresentam resultados satisfatórios em bacias urbanas. Assim, foram utilizados os modelos CN-SCS e hidrograma unitário, ambos amplamente utilizados em áreas urbanas.

Para estudar o padrão das chuvas de verão da região foram analisadas estações pluviométricas/meteorológicas no entorno da bacia do rio Botas devido à ausência de estações com série histórica maior do que cinco anos dentro da área de estudo. Seguindo os critérios: distância e existência de bloqueio orográfico entre a estação e a área da bacia, além da geomorfologia da região onde as estações estão localizadas; foi selecionada a estação meteorológica Ecologia Agrícola do INMET que se localiza em Seropédica e possui resolução temporal horária.

Com esses dados foram replicados dois cenários de chuvas típicas da região. O primeiro com os valores máximos de duração, pico e acumulado. No segundo, foram selecionadas as características (duração, pico e acumulado) mais frequentes dentro do grupo de dados 50% menos frequente.

Os critérios para a escolha da estação meteorológica e o método de seleção das chuvas características do verão foram satisfatórios, pois os resultados obtidos nesse trabalho e os utilizados como alerta pela

Defesa Civil de Nova Iguaçu são compatíveis. Esse fato indica que o método é válido para analisar o perfil de chuvas críticas de uma região sem estudos prévios e com poucos dados pluviométricos disponíveis.

Para a confecção dos modelos são necessários dados topográficos do terreno que foram cedidos pela prefeitura de Nova Iguaçu na escala de 1:10.000. Para os dados de uso e ocupação do solo, o mapa da bacia do rio Iguaçu foi atualizado manualmente por meio de imagens de satélites. Esse método se mostrou eficiente, pois na calibração os valores do tamanho da área impermeabilizada não apresentaram variação significativa. Em relação a modelagem hidrodinâmica, independente da ausência de dados mais específicos, como: a curva – chave do rio Botas para o cálculo da vazão e boletins da Defesa Civil mais detalhados para calibração e validação do modelo por pontos de inundação, o resultado foi considerado satisfatório, pois na validação empírica os pontos alagados foram os mesmos apresentados pelos agentes da Defesa Civil e com o mesmo nível de profundidade.

Para a confecção do mapeamento de perigo foram utilizados o Censo Demográfico do Brasil de 2010 adicionado a uma relação entre profundidade da água, perda de bens materiais/construções e os transtornos causados à locomoção dos pedestres. Em relação à contagem dos elementos expostos, tanto moradia quanto moradores, os bairros menos afetados são Jardim Iguaçu e Rancho Novo. Entre os bairros mais atingidos estão Da Viga, Kennedy e Santa Eugênia. Em ambos os cenários os mais vulneráveis representam cerca de 26% de todos os moradores afetados.

Os resultados deste trabalho demonstram que é possível realizar um mapeamento satisfatório de inundação mesmo em bacias hidrográficas com poucos dados. Ademais, esse tipo de mapeamento é uma ferramenta que auxilia os tomadores de decisões locais em projetos de mitigação dos eventos de inundação e também serve como base para um planejamento de uso e ocupação do território consciente e seguro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALAGHMAND, S.; ABDULLAH, R. B.; ABUSTAN, I.; VOSOOGH, GIS-based river flood hazard mapping in urban area. **International Journal of Engineering and Technology**, v. 2, n. 6, p. 488–500, 2010. <https://doi.org/10.1504/IJHST.2012.049187>
- ALAGHMAND, S.; BIN ABDULLAH, R. B.; ABUSTAN, I.; ESLAMIAN, S. Comparison between capabilities of HEC-RAS and MIKE11 hydraulic models in river flood risk modeling. **International Journal of Hydrology Science and Technology**, v. 2, n. 3, p. 270–291, 2012.
- ANDRÉ, R.; MARQUES, V.; PINHEIRO, F. FERRAUDO, A. Identificação de regiões pluviometricamente homogêneas no estado do Rio de Janeiro, utilizando-se valores mensais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.23, n.4, p. 501–509, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862008000400009>
- ANEES, M. T.; ABDULLAH, K.; NAWAWI, M. N. M.; AB RAHMAN, N. N. N.; PIAH, A. R. M.; ZAKARIA, N. A.; SYAKIR, M. I.; MOHD, O., A. K. Numerical modeling techniques for flood analysis. **Journal of African Earth Sciences**, v.124, p.478–486, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2016.10.001>
- ASIEDU, J. B. Reviewing. The Argument On Floods In Urban Areas: A Look At The Causes. **Theoretical and Empirical Researches in Urban Management**, v. 15, n. 1, p. 24-41, 2020.
- BARROS, D. V.; COSTA, C. M.; SILVA, Q. D Da; TEIXEIRA, E., C.; SANTANA, R. G. Morfometria, uso e cobertura do solo como indicadores de enchentes e inundações na Bacia do Rio do Prata, Ilha do Maranhão. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v.3, n.5, p.217, 2016. <https://doi.org/10.21438/rbgas.030511>
- BECK, M. B. Forecasting environmental change. **Journal of Forecasting**, v.10, n.1–2, p.3–19, 1991. <https://doi.org/10.1002/for.3980100103>
- BEN KHALFALLAH, C.; SAIDI, S. Spatiotemporal floodplain mapping and prediction using HEC-RAS - GIS tools: Case of the Mejerda river, Tunísia. **Journal of African Earth Sciences**, v. 142, p. 44–51, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2018.03.004>

BOOTH, D. B.; BLEDSOE, B. P. Streams and urbanization. In: The water environment of cities. **Springer, Boston, MA**, p. 93-123, 2009. https://doi.org/10.1007/978-0-387-84891-4_6

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. **Dados de precipitação 2014 a 2017**. Disponível em: <<http://www2.cemaden.gov.br/mapainterativo/#>>. Acesso em: 30 mar. 2018.

CHARLEY, W. **The hydrologic modeling system (HEC-HMS): Design and development issues**. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 1995. CID/SECPLAN, . **Mapa de uso do solo e cobertura vegetal**, 1:10.000. 1995 .

CLARK, M. P.; BIERKENS, M. F.; SAMANIEGO, L.; WOODS, R. A.; UIJLENHOET, R.; BENNETT, K. E.; PETERS-LIDARD, C. D. The evolution of process-based hydrologic models: historical challenges and the collective quest for physical realism. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.7, n. 21, p. 3427-3440, 2017. <https://doi.org/10.5194/hess-21-3427-2017>

COBRADE - Classificação e Codificação Brasileira de Desastres. **Anexo 1**, 2012.

CARVALHO FILHO, A. de ; LUMBRERAS, J. F.; SANTOS, R. D. Dos. Os solos do Estado do Rio de Janeiro. **Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro**, 2000.

CUNHA, S. F. ; SILVA, F. E. O. ; MOTA, T. U. ; PINHEIRO, M. C. Avaliação da acurácia dos métodos do SCS para cálculo da precipitação efetiva e hidrogramas de cheia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n 4, p. 837-848, 2015. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v20n4.p837-848>

DERECZYNSKI, C. P.; LUIZ SILVA, W.; MARENGO, J. A. Detection and Projections of Climate Change in Rio de Janeiro, Brazil. **American Journal of Climate Change**, v. 2, p. 25-33. DOI: 10.4236/ajcc.2013.21003, 2013. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2013.21003>

DOS SANTOS JÚNIOR, V. J.; SANTOS, C. O. A evolução da urbanização e os processos de produção de inundações urbanas. **Estação Científica (UNIFAP)**, v. 3, n. 1, p. 19-30, 2014.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos 2**. Ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA. 2006.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Solos. **Geoinfo.**, 2018.

FARIAS, A.; MENDONÇA, F. DE A. Modelagem e mapeamento de áreas de perigo de inundação urbana na cidade de Francisco Beltrão (Brasil). **Physis Terrae-Revista Ibero-Afro-Americana de Geografia Física e Ambiente** n.1.1, p.73-91, 2019. <https://doi.org/10.21814/physisterrae.405>

HODGES, B.R. HYDRODYNAMICAL MODELING. In S.A. Elias (Editor), **Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences**, Elsevier, p.22, 2014. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09123-5>

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010**.. Disponível em:< <http://www.censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em:30 out. 2018.

INEA - Instituto Estadual do Ambiente. Sistema de Alerta de Cheias. Disponível em: <<http://alertadecheias.inea.rj.gov.br/dados.php>>. Acesso em: 30 de março de 2018.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de dados meteorológico para ensino e pesquisa**. Brasília, 2017. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 30 de março de 2018.

LASTRA, J.; FERNÁNDEZ, E.; DÍEZ-HERRERO, A.; MARQUÍNEZ, J. Flood hazard dellINEA tion combining geomorphological and hydrological methods: An example in the Northern Iberian Peninsula. **Natural Hazards**, v. 45, n. 2, p. 277–293, 2008. <https://doi.org/10.1007/s11069-007-9164-8>

LIM, K. J., ENGEI, B. A., MUTHUKRISHNAN, S., HARBOR, J. EFFECTS OF INITIAL ABSTRACTION AND URBANIZATION ON ESTIMATED RUNOFF USING CN TECHNOLOGY 1. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 42, n 3, p. 629-643, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2006.tb04481.x>

- LIU, Z.; WANG, Y.; XU, Z.; DUAN, Q. Conceptual Hydrological Models. **Handbook of Hydrometeorological Ensemble Forecasting**, p.1–23, 2017. https://doi.org/10.1007/978-3-642-40457-3_22-1
- LYRA, A.; TAVARES, P.; CHOU, S. C.; SUEIRO, G.; DERECZYNSKI, C.; SONDERMANN, M.; GIAROLLA, A. Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non-hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution. **Theoretical and applied climatology**, v. 1, n. 132, p. 663-682, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2067-z>
- MAJIDI, A., MORADI, M., VAGHARFARD, H., PURJENAIE, A. Evaluation of Synthetic Unit Hydrograph (SCS) and Rational Methods in Peak Flow Estimation (Case Study: Khoshehaye Zarrin Watershed, Iran). **International Journal of Hydraulic Engineering**, v. 1, n 5, p.43-47, 2012.
- MOCKUS, Victor; HJELMFELT, Allen T. Chapter 10. Estimation of direct runoff from storm rainfall. US Department of Agriculture, SCS. **National Engineering Handbook**, v. 4, 1972.
- NRCS-USDA. Part 630 hydrology national engineering handbook. **Chapter 7 hydrologic Soil Group**. US Department of Agricultural Natural Resources Conservation Science, Washington DC (2007).
- NRCS-USDA. Part 630 hydrology national engineering handbook. **Chapter 15 Time of Concentration**, US Department of Agricultural Natural Resources Conservation Science, Washington DC (2007).
- RAMÍREZ J.A. Prediction and modeling of flood hydrology and hydraulics In: WOHL, E. et al. (Edit.). **Inland Flood Hazards: Human, Riparian and Aquatic Communities**. Chapter 11. Cambridge University Press 2002.
- SILVEIRA, A. Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 1, p. 5–29, 2005 <https://doi.org/10.21168/rbrh.v10n1.p5-29>
- SILVEIRA, V. S.; ROBAINA, L. S.; Trentin, R. Definição das áreas de perigo de inundação do rio Vacacaí no município de São Gabriel, RS. **GeoTextos v.10** n.2, 2014. <https://doi.org/10.9771/1984-5537geo.v10i2.9962>
- SINGH, V. P. Hydrologic modeling: progress and future directions. **Geoscience letters**, v. 5, n. 1, p. 1-18, 2018. <https://doi.org/10.1186/s40562-018-0113-z>
- SOARES, M. R. G. D. J.; FIORI, C. O.; SILVEIRA, C. T. D.; KAVISKI, E. Eficiência do método curve number de retenção de águas pluviais. **Mercator (Fortaleza)**, v. 16, 2017.
- SOBRAL, B. S. ; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; GOIS, G.; DE BODAS TERASSI, P. M. ; MUNIZ-JÚNIOR, J. G. R. Variabilidade espaço-temporal e interanual da chuva no estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.22, 2018. <https://doi.org/10.5380/abclima.v22i0.55592>
- SPRISSLER, T. Flood Risk Brazil: **Prevention, Adaptation and Insurance**, Swiss Reinsurance Company Ltd. Zurique, Suíça 2011.
- STEVAUX, J.; LATRUBESSE, E.; HERMANN, M.; AQUINO, S. Floods in Urban Areas of Brazil. **Developments in Earth Surface Processes**. V.13. p. 245-266. DOI: 10.1016/S0928-2025(08)10013-X., 2009. [https://doi.org/10.1016/S0928-2025\(08\)10013-X](https://doi.org/10.1016/S0928-2025(08)10013-X)
- TUCCI, C. Parâmetros do Hidrograma Unitário para Bacias Urbanas Brasileiras. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 2, p. 195–199, 2003. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v8n2.p195-199>
- UNDRR/ISC SENDAI - United Nations Office for Disaster Risk Reduction/ International Science Council . **Hazard definition and classification review**, **United Nations**. Genebra, Suíça 2020.
- USACE - US Army Corps of Engineers. HEC-RAS River Analysis System. **User's Manual, Version 4,1**, p. 1–790, 2010.
- USACE - US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center, Hydrologic Modelling System HEC-HMS. User's Manual. **Hydrologic Engineering Center**,2016.

NRCS-USDA - United States Department of Agriculture, U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE -. Urban Hydrology for Small. **Soil Conservation**, n. Technical Release 55 (TR-55), p. 164, 1986.

VALLE, L. C. G. do; RODRIGUES, D. B. B.; OLIVEIRA, P. T. S. de. Initial abstraction ratio and Curve Number estimation using rainfall and runoff data from a tropical watershed. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 24, 2019. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.241920170199>

WEATER, H. S. Progress in and prospects for fluvial flood modelling. **The Royal Society**, v.360, n. 1796, p.1409–1431, 2002. <https://doi.org/10.1098/rsta.2002.1007>

WOODWARD, D. E.; HAWKINS, R. H.; JIANG, R.; HJELMFELT, JR, A. T.; VAN MULLEM, J. A.; QUAN, Q. D. **Runoff curve number method**: Examination of the initial abstraction ratio. IN: WORLD WATER & ENVIRONMENTAL RESOURCES CONGRESS, p. 1-10, 2003. [https://doi.org/10.1061/40685\(2003\)308](https://doi.org/10.1061/40685(2003)308)

Recebido em: 04/10/2021

Aceito para publicação em: 01/06/2022