

Coordenadores:

Adélia Nunes

Luciano Lourenço

Análise e modelação de risco no ordenamento do território



RISCOS

Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

Coimbra, 2023

Análise e modelação de risco no ordenamento do território

, o décimo primeiro volume da série *Estudos Cindínicos*, é constituído por seis capítulos que têm como denominador comum a análise e a modelação de riscos (hidrológicos, geomorfológicos, climáticos/meteorológicos) como ferramentas indispensáveis no ordenamento do território, na redução do risco de desastre e no fortalecimento da resiliência ambiental e social.

Tendo o ordenamento do território como finalidade acautelar a proteção da população e bens, através de uma ocupação, utilização e transformação do solo que tenham em conta a segurança de pessoas, prevenindo riscos coletivos e reduzindo os seus impactes nas pessoas e ecossistemas, torna-se imperioso conhecê-lo para que as decisões que venham a ser tomadas sejam informadas e eficientes.

Neste contexto, a análise e modelação da informação geográfica, quantitativa ou qualitativa, permite o conhecimento mais detalhado do território. Embora a modelação geográfica implique sempre uma simplificação da realidade, tornando-a manipulável, os resultados obtidos permitem uma aproximação à previsão do comportamento do território e dos fenómenos nele desenvolvidos, bem como dos agentes que intervêm no mesmo. Assume, assim, grande relevância na gestão e ordenamento do território, bem como ferramenta para a tomada de decisões sobre oportunidades, condicionantes, prevenção e mitigação de riscos.

Trata-se, sem dúvida, de um livro de elevada utilidade para investigadores, decisores públicos, professores e estudantes, com interesse nestas matérias ou com responsabilidade na análise e gestão dos riscos e no ordenamento do território.

Adélia Nunes

Professora Associada, com Agregação em Geografia, na Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra



RISCOS

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA
DE RISCOS, PREVENÇÃO
E SEGURANÇA

ESTRUTURAS EDITORIAIS | EDITORIAL STRUCTURES

Estudos Cindínicos

DIRETOR PRINCIPAL | MAIN EDITOR

Luciano Lourenço

RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

DIRETORES ADJUNTOS | ASSISTANT EDITORS

António Amaro, Adélia Nunes, António Vieira, Fátima Velez de Castro

RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

ASSISTENTE EDITORIAL | EDITORIAL ASSISTANT

Fernando Félix

RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

COMISSÃO CIENTÍFICA | EDITORIAL BOARD

Adélia Nunes

Universidade de Coimbra

Ana Meira Castro

Instituto Superior de Engenharia do Porto

António Betâmio de Almeida

Instituto Superior Técnico, Lisboa

António Duarte Amaro

Universidade Nova de Lisboa

António Vieira

Universidade do Minho

Bruno Martins

Universidade de Coimbra

Cristona Queirós

Universidade do Porto

Fátima Velez de Castro

Universidade de Coimbra

Helena Fernandez

Universidade do Algarve

Humberto Varum

Universidade de Aveiro

João Luís Fernandes

Universidade de Coimbra

José Simão Antunes do Carmo

Universidade de Coimbra

Luciano Lourenço

Universidade de Coimbra

Romero Bandeira

Inst. de Ciências Biomédicas Abel Salazar, Porto

Tomás de Figueiredo

Instituto Politécnico de Bragança

Antenora Maria da Mata Siqueira

Universidade Federal Fluminense, Brasil

Antonio Carlos Vitte

Universidade Estadual de Campinas, Brasil

Carla Juscélia Oliveira Souza

Universidade de São João del Rei, Brasil

Jorge Olcina Cantos

Universidade de Alicante, Espanha

José Arnaez Vadillo

Universidade de La Rioja, Espanha

Lidia Esther Romero Martín

Universidade Las Palmas de Gran Canaria, Espanha

María Augusta Fernández Moreno

Universidade Católica de Ibarra, Equador

Miguel Castillo Soto

Universidade do Chile

Montserrat Díaz-Raviña

Inst. Inv. Agrobiológicas de Galicia, Espanha

Norma Valencio

Universidade Federal de São Carlos, Brasil

Tiago Ferreira

University of the West of England

Virginia Araceli García Acosta

CIESAS, México

Xavier Ubeda Cartaña

Universidade de Barcelona, Espanha

Yolanda Teresa Hernández Peña

Univ. Distrital Francisco José de Caldas, Colômbia

Yvette Veyret

Universidade de Paris X, França

ADÉLIA NUNES
LUCIANO LOURENÇO
(COORDS.)



ANÁLISE E MODELAÇÃO DE RISCO NO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

EDIÇÃO

RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

Email: riscos@riscos.pt

URL: <https://www.riscos.pt/publicacoes/sec/>

OBRA SUJEITA AO PROCESSO DE REVISÃO POR PARES

COORDENAÇÃO EDITORIAL

Adélia Nunes e Luciano Lourenço

IMAGEM DA CAPA

Karine Nieman

PAGINAÇÃO

Fernando Félix

EDIÇÃO GRÁFICA

Fernando Félix

ISSN

2184-5727

DOI (Série)

<https://doi.org/10.34037/978-989-54295-1-6>

ISBN Digital

978-989-9053-18-2

DOI

https://doi.org/10.34037/978-989-9053-18-2_11

SUMÁRIO

PREFÁCIO	9
A importância dos modelos numéricos na previsão dos efeitos das alterações climáticas e dos eventos extremos em áreas estuarinas Isabel Iglesias, José Luís Pinho, Ana Bio, Paulo Avilez-Valente, Willian Melo, José Vieira, Luísa Bastos e Fernando Veloso-Gomes	13
Áreas sujeitas a inundação e alagamento na cidade de Maricá, RJ - Brasil Alessandra Conde de Freitas, Fabiola de Souza Freitas e Lidiane dos Santos Lima	45
Aplicação do modelo Height Above the Nearest Drainage (HAND) para mapeamento de inundação na bacia hidrográfica do rio Cuiá, João Pessoa, Paraíba, Brasil Mária Luisa Palitot Remígio Alves, Hamilcar José Almeida Filgueira e Jessé Pedro Gomes Júnior	83
Índice para avaliação de áreas sujeitas a risco de movimentos em massa Thyago Anthony Soares Lima, Fernando Granja-Martins e Helena Fernandez	111
O fator LS (EUPS) aplicado ao ordenamento do território para delimitação da Reserva Ecológica Nacional (REN) António Alves da Silva e Fernando Lagos Costa	151
Contributos para a análise de riscos em ambientes condicionados pelo ar húmido – estudos de caso Mário Talaia	193

PREFÁCIO

Análise e modelação de risco no ordenamento do território é o tema do décimo primeiro volume da série *Estudos Cindínicos*, lançada em 2018, a qual pretende compilar contributos diversos, provenientes tanto de autores de diferentes nacionalidades, cujas realidades estão sujeitas a vários tipos e graus de riscos, como de distintas áreas de investigação, cobrindo assim uma vasta diversidade de regiões e de temas, dentro das ciências cindínicas.

O ordenamento do território tem como fim acautelar a proteção da população, através de uma ocupação, utilização e transformação do solo que tenham em conta a segurança de pessoas, prevenindo riscos coletivos e reduzindo os seus efeitos nas pessoas e bens e, desta forma, aumentando a resiliência do território aos impactes decorrentes de manifestação de processos potencialmente perigosos. O território, por sua vez, constitui-se como um domínio complexo resultante da interação e influência de diversos elementos, também eles de elevada complexidade, os quais influenciam e condicionam a sua gestão e utilização. Como tal é imperioso conhecê-lo para que as que decisões que venham a ser tomadas sejam informadas e eficientes.

Neste contexto, a análise da informação geográfica, quantitativa ou qualitativa, permite o conhecimento mais detalhado desse território. Embora a modelação geográfica implique sempre uma simplificação da realidade, tornando-a manipulável, os resultados obtidos permitem uma aproximação à previsão do comportamento do território e dos fenómenos nele desenvolvidos, bem como dos agentes que intervêm no mesmo. Assume, assim, grande relevância na gestão e ordenamento do território, bem como ferramenta para a tomada de decisões sobre oportunidades, condicionantes, prevenção e mitigação de riscos.

Este volume, que agora dá à estampa, é constituído por seis capítulos que têm como denominador comum a análise e a modelação de riscos (hidrológicos, geomorfológicos, climáticos/meteorológicos) como ferramentas indispensáveis no ordenamento do território, na redução do risco de desastre e no fortalecimento da resiliência ambiental e social.

No primeiro capítulo, da autoria de Isabel Iglesias, José Luís Pinho, Ana Bio, Paulo Avilez-Valente, Willian Melo, José Vieira, Luísa Bastos e Fernando

Veloso-Gomes, intitulado “*A importância dos modelos numéricos na previsão dos efeitos das alterações climáticas e dos eventos extremos em áreas estuarinas*” analisa-se a hidrodinâmica estuarina do Douro e do Minho, como o intuito de reduzir a vulnerabilidade e aumentar a resiliência dos estuários. Para o efeito, combinaram diferentes modelos, considerando diversos cenários, atuais e futuros, fluxos de cheia e valores extremos do nível do mar segundo as projeções dos RCPs do IPCC. Os resultados obtidos fornecem informações essenciais para o desenvolvimento de protocolos e estratégias de mitigação, para proteger os recursos naturais, populações e infraestruturas costeiras, mais bem-adaptadas a eventos extremos futuros e às condições de alterações climáticas.

Alessandra Conde de Freitas, Fabíola de Souza Freitas e Lidiane dos Santos Lima são os autores do segundo capítulo, o qual tem como principal objetivo localizar as “*Áreas sujeitas a inundação e alagamento na cidade de Maricá, RJ – Brasil*”, recorrendo a metodologias diversas. Assim, das 32 localidades avaliadas, 5 foram afetadas por inundações, 15 por alagamentos e 12 foram afetadas por inundações e alagamentos, sendo esses processos típicos de regiões de média a alta suscetibilidade. Com efeito, esta cidade costeira do estado do Rio de Janeiro, Brasil, assinalou, nas últimas décadas, um crescimento populacional urbano significativo, potencializando a ocorrência de desastres hidrológicos. Os Autores são perentórios ao afirmar que os resultados obtidos através deste trabalho permitiram “[...] *verificar que fatores como urbanização, planeamento urbano, mudanças nos usos da terra, gerenciamento dos recursos naturais (por exemplo, água) e ações educativas, podem afetar a abrangência, frequência e a severidade de desastres associados a inundações e alagamentos, em termos de perdas de vidas, prejuízos económicos e impactos no meio ambiente*”.

O terceiro capítulo, com o título “*Aplicação do modelo Height Above the Nearest Drainage (HAND) para mapeamento de inundação na bacia hidrográfica do rio Cuiá*”, é da autoria de João Pessoa, Maria Luisa Palitot Remígio Alves, Hamilcar José Almeida Filgueira e Jessé Pedro Gomes Júnior. Tem como objetivo cartografar episódios de inundação numa secção da Bacia Hidrográfica do rio Cuiá, utilizando o modelo descritor de terreno *Height Above the Nearest Drainage* (HAND), antes e após a realização de desassoreamento no leito do rio. Para o efeito, obtiveram fotografias métricas que permitiram a realização de um Modelo Digital de Terreno

(MDT), com resolução espacial de 0,30 m. Os resultados obtidos, de acordo com o modelo HAND, mostraram que o desassoreamento reduziu em 50,8% o número de casas suscetíveis a inundação e em 31,5% a área total afetada pelas cheias. Apesar da intervenção no leito do rio poder ser considerada de eficiente, na minimização dos problemas relacionados com as inundações na área de estudo, os Autores classificam esta dragagem como uma medida paliativa, podendo ser classificada como uma prática agressiva ao rio.

O capítulo da autoria de Thyago Anthony Soares Lima, Fernando Granja-Martins e Helena Fernandez, com o título “*Índice para avaliação de áreas sujeitas a risco de movimentos em massa*” propõe-se apresentar um índice de risco de movimentos em massa, à escala regional, tendo sido aplicado à cidade de Maceió, Alagoas, Brasil, muito suscetível à manifestação deste risco. Na equação para o cálculo do Índice de Movimentos em Massa (IMM) consideraram duas componentes; a primeira inclui sete fatores de perigosidade (Litologia, Unidades do Relevo, Pedologia, Declive, Precipitação, Vegetação e o Uso e Ocupação do Solo) e a segunda o fator da vulnerabilidade (Densidade Demográfica e a Situação da Moradia e os Registos de Ocorrências). Os resultados obtidos mostram a existência de áreas muito suscetíveis à ocorrência de movimentos em massa, sendo que a elevada densidade demográfica dos bairros e a má qualidade de construção contribuem para o incremento da vulnerabilidade da população residente.

“*O fator LS (EUPS) aplicado ao ordenamento do território para delimitação da Reserva Ecológica Nacional (REN)*” é o título do quarto capítulo, de António Alves da Silva e Fernando Lagos Costa. Neste trabalho de investigação, os Autores visam definir os limites da Reserva Ecológica Nacional (REN) a nível municipal, tendo por base as Áreas de Elevado Risco de Erosão Hídrica do Solo (AEREHS), definidas pela Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) Revista (RUSLE), de acordo com a legislação em vigor. Para o efeito, compararam os resultados da aplicação de métodos e variantes de cálculo do fator topográfico LS na perda potencial de solo em contextos geomorfológicos variáveis, no intuito de optar por uma solução genérica mais adequada. Os resultados obtidos sugerem que a versão 2 da RUSLE (RUSLE2), que limita o comprimento do escoamento não organizado a 305 m (máximo previsto pelos autores da EUPS), é a mais adequada ao cálculo do LS e delimitação das AEREHS no

âmbito da REN. Consideram os Autores, ainda, que esta versão da RUSLE se adapta melhor a regiões em que a erosão hídrica se concentra no inverno, discriminando as áreas de escoamento em toalha de sulcagem, consoante o declive. Reforçam, todavia, a necessidade de diferenciar contextos geomorfológicos em cada município, pois o método usado e sobretudo a cartografia de base afetam os resultados, com impactos substanciais na demarcação da REN.

Mário Talaia é o Autor do último capítulo deste livro, com o tema “*Contributos para a análise de riscos em ambientes condicionados pelo ar húmido – estudos de caso*”, no qual são explorados ambientes que podem gerar riscos para a saúde pública, nomeadamente ambiente térmico, mobilidade de vírus no ar húmido, riscos de saúde num incêndio florestal e riscos de saúde num mergulho em apneia. A análise deste tipo de risco assume particular relevância com a problemática das alterações climáticas, do aquecimento global e em cenários de novos ecossistemas. O Autor, com base em diferentes cenários, com risco para a saúde humana apresentou leis físicas e/ou químicas de modo a serem geradas expressões ou modelos simples para a interpretação dos estudos de caso considerados. Propôs ainda, para cada estudo de caso, estratégias de intervenção de modo a estabelecer limiares de segurança e manter limites de tolerância.

Trata-se, sem dúvida, de um livro de elevada utilidade para investigadores, decisores públicos, professores e estudantes, com interesse nestas matérias ou com responsabilidade na análise e gestão dos riscos e no ordenamento do território. A expectativa é a de que, com o envolvimento e articulação de todos, se possa gerir o território de modo reduzir os riscos e aumentar capacidade de antecipação e mitigação dos danos, através de comunidades e ecossistemas mais resilientes.

Coimbra, 12 de julho de 2023

Adélia Nunes

APLICAÇÃO DO MODELO *HEIGHT ABOVE THE NEAREST DRAINAGE* (HAND) PARA MAPEAMENTO DE INUNDAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CUIÁ, JOÃO PESSOA, PARAÍBA, BRASIL
APPLICATION OF THE HEIGHT ABOVE THE NEAREST DRAINAGE (HAND) MODEL FOR FLOOD MAPPING IN THE CUIÁ RIVER BASIN, JOÃO PESSOA, PARAÍBA, BRAZIL

Maria Luisa Palitot Remígio Alves

Universidade Federal da Paraíba
Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA (Brasil)
ORCID: 0000-0002-0068-4137 marialuisa.alves95@gmail.com

Hamilcar José Almeida Filgueira

Universidade Federal da Paraíba
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – DECA (Brasil)
ORCID: 0000-0002-4378-3477 hfilgueira@gmail.com

Jessé Pedro Gomes Júnior

Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia - CT (Brasil)
ORCID: 0000-0002-4997-328X jessegomes.eng@gmail.com

Resumo: As inundações no Brasil representam 12% dos desastres que ocorrem no país. Isso é devido à ocupação de áreas impróprias para habitação por todas as classes sociais, principalmente as menos favorecidas economicamente. Este estudo objetivou mapear eventos de inundação em um trecho da Bacia Hidrográfica do rio Cuiá, utilizando o modelo descritor de terreno *Height Above the Nearest Drainage* (HAND) antes e após a realização do desassoreamento do leito do rio. Foi utilizada

uma aeronave remotamente pilotada para fotogrametria da área total de 1,4 km², servindo posteriormente para a obtenção do Modelo Digital de Terreno (MDT), com resolução espacial de 0,30 m. Foi verificada na primeira simulação, antes do desassoreamento do rio, que os pontos de inundações passadas coletados em visita de campo estavam dentro da área suscetível à inundação no mapa HAND. Já na segunda simulação, após o desassoreamento, os mesmos pontos não foram inundados. Portanto, a intervenção no leito do rio foi eficiente para a minimização dos problemas relacionados com as inundações na área de estudo.

Palavras-chave: Inundação urbana, risco a desastres, descritor de terreno.

Abstract: In Brazil floods account for 12% of disasters occurring in the country. This is because all social classes occupy areas unsuitable for housing, but the economically disadvantaged population are in the majority. This work aims to map flooding events along a stretch of the Cuiá River Basin, using the Height Above the Nearest Drainage (HAND) model before and after the desilting of the river course. A drone was used to carry out photogrammetry of the total area of 1.4 km², which later provided a Digital Terrain Model (DTM) with a spatial resolution of 0.30 m. It was shown in the first simulation, before the desilting of the river, that the points of past floods collected during a field visit were within the flood-susceptible area on the HAND map. In the second simulation, after desilting, the same points were not flooded. Therefore, the intervention in the river course was effective in minimizing the problems from floods in the study area.

Keywords: Urban flooding, disaster risk, terrain descriptor.

Introdução

A sociedade tem sofrido com as perturbações e danos causados por desastres relacionadas com fenômenos naturais, crescendo ano após ano, frequentemente associadas ao crescimento desordenado da população e à tendência para habitar lugares propensos à ocorrência destes, tais como encostas e planícies aluviais (Goerl e Kobayama, 2013; Goerl, Cheffe *et al.*, 2017).

Outro fator associado ao desencadeamento dos desastres é a gestão deficiente dos recursos hídricos, dos resíduos sólidos e dos sistemas de drenagem urbana, que podem potencializar problemas sanitários nomeadamente os relacionados com as inundações e os movimentos em massa (UNISDR, 2012).

Na maior parte do planeta, a ocupação humana tem ocorrido nas margens dos rios, provocando sérios prejuízos ambientais a medida que a população se expande para locais onde ocorre a dinâmica natural dos cursos de água. O desenvolvimento das populações tem transformado os pequenos núcleos ribeirinhos em grandes centros urbanos de grande complexidade. A urbanização e o padrão de ocupação têm provocado grandes pressões na natureza podendo pôr em causa a sustentabilidade dessas populações. Tem-se notado que essa pressão sobre o meio ambiente está sendo exercida muitas vezes pela população mais favorecida economicamente, direcionando a população mais carente e de baixa capacidade de resiliência, em razão da falta de acesso à moradia, para áreas destinadas à dinâmica dos processos naturais como as planícies dos leitos dos rios, modificando-as severamente (UNISDR, 2012; Macklin e Lewin, 2015; Moura, 2016; Zanandrea, Vanelli, Tavares, e Goldenfum, 2018).

Os desastres relacionados aos eventos de precipitação pluviométrica intensa são recorrentes no Brasil, representando cerca de 12% dos eventos adversos que ocorreram entre os anos de 1991 e 2012 (UFSC, 2013). Esses desastres são agravados pela alta vulnerabilidade da população que se encontra em constante exposição nas planícies de inundação (UFSC, 2013; Milanese, Quadros e Lahm 2017). Com a valorização dos espaços na zona urbana, parte da população de baixa renda passa a ocupar essas áreas, formando aglomerados subnormais, as favelas, carentes de planejamento territorial em longo prazo e de fiscalização por parte do poder público que dá preferência a obras de grande visibilidade (Zahed Filho, Martins

e Porto, 2012). Segundo Filgueira, Nascimento, Clemente e Targino (2009), o planejamento para expansão territorial urbana não é uma realidade para muitas cidades brasileiras e, conseqüentemente, as adversidades climáticas só potencializam as vulnerabilidades preexistentes.

Novas tecnologias de sensoriamento remoto têm sido importantes ferramentas na área ambiental para a previsão e prevenção de inundações, assim como de outros desastres. Entre essas têm-se as Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs da sigla em inglês), popularmente conhecidas com *drones*. Originalmente utilizadas para aplicações militares, com o tempo foram adaptados para fins civis nos quais foram instalados sensores que possibilitam o imageamento de áreas com altíssima resolução espacial, portanto, bastante aplicável em estudos ambientais que necessitam de maior acurácia como a formulação de modelos hidrológicos (Longhitano, 2010; Klemas, 2015; Wallace, Martin e White, 2017). Seu destaque também advém da possibilidade de imagear uma determinada área em curto período de tempo e com rápido processamento das imagens. Necessita de uma equipe pequena para obtenção dos dados e é considerado um produto de baixo custo quando comparado às imagens de satélites de alta resolução espacial que têm preços bastante elevados (Antunes e Hollatz, 2015; Braz, Borges, Bernardes e Terezan, 2015).

Com a proposta de estimar a extensão máxima de inundação em determinada área de forma estacionária, foi desenvolvido por pesquisadores brasileiros do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) o modelo descritor do terreno *Height Above the Nearest Drainage* (HAND), que precisa apenas do Modelo Digital de Elevação (MDE) da região de estudo como dado de entrada (Rennó *et al.*, 2008; Nobre *et al.*, 2011). O HAND tem a função de normalizar o MDE no qual se estabelecerá uma nova referência topográfica a partir da drenagem da área de estudo. Ele estima as faixas suscetíveis à inundação de acordo com o limiar de drenagem, particular de cada região e dependente da resolução espacial utilizada no MDE (Nobre *et al.*, 2011; Nobre *et al.*, 2016).

A grande vantagem desse modelo está na praticidade de ter apenas um dado de entrada, comparado aos modelos hidrológicos que necessitam de muitas variáveis e de um longo tempo de processamento dos dados. Assim, o algoritmo se torna de grande utilidade para a gestão de risco a desastres em regiões já ocupadas ou

ainda não habitadas. Tornou-se uma importante ferramenta para o planejamento territorial que busque respostas rápidas do padrão de inundação da região.

Dessa forma, este trabalho teve objetivo de mapear a inundação em um trecho da bacia hidrográfica do rio Cuiá, localizado no município de João Pessoa, Paraíba, Brasil, utilizando o modelo descritor de terreno *Height Above the Nearest Drainage* (HAND), antes e após a realização do desassoreamento do leito do rio.

Área de estudo

Caracterização da Bacia Hidrográfica do rio Cuiá

A Bacia Hidrográfica do Rio Cuiá (BHRC) está localizada na porção Sudeste da zona urbana do município de João Pessoa, capital do estado da Paraíba, região Nordeste do Brasil, entre as coordenadas 9.210.000mN / 302.000mE e 9.200.000mN / 292.000mE do sistema Universal Transversa de Mercator (UTM) com Datum SIRGAS 2000. O clima é do tipo tropical úmido com temperatura média de 26,8 °C e com precipitação acumulada anual média de 1.914 mm, sendo os meses de abril a julho os mais chuvosos do ano, a partir da normal climatológica de 1981 a 2010 (INMET, 2020).

A área de estudo é limitada a Leste pelo Oceano Atlântico e faz fronteira com quase todas as bacias hidrográficas de João Pessoa, exceto com a Bacia Hidrográfica do rio Marés-Sanhauá. Sua área total é de 40,15 km², com oito sub-bacias e seu rio principal possui cerca de 11 km de extensão (fig. 1). Dentre as suas nascentes, a principal encontra-se no conjunto habitacional do Grotão e as suas águas desaguam no Oceano Atlântico na Praia do Sol (Reis, 2010).

O Plano Municipal de Saneamento Básico de João Pessoa (PMSB-JP) (Paraíba, 2015) traz um diagnóstico dos vários problemas encontrados na zona urbana do município, dentre os quais estão as áreas propensas a risco de desastres por alagamento, inundação e movimento em massa. Um dos locais apontados pelo PMSB-JP é a área que é objeto deste estudo, localizada na rua Brasilino Alves da Nóbrega (trecho da ponte sobre o rio Cuiá) com coordenadas UTM 9.204.533mN / 296.887mE.

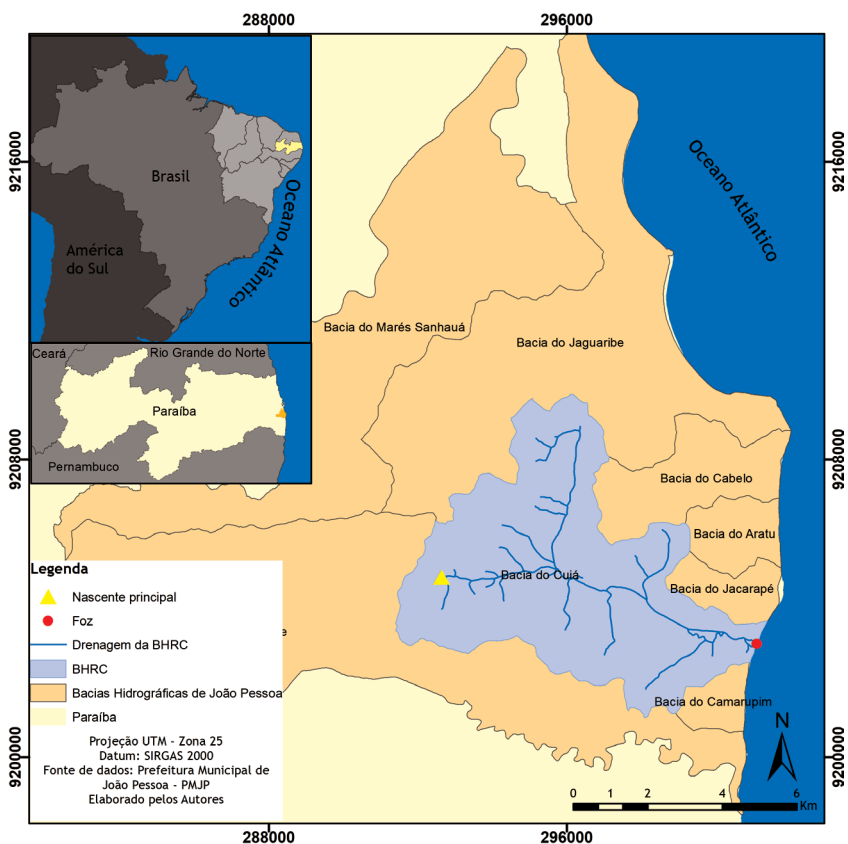


Fig. 1 - Mapa da localização da Bacia Hidrográfica do rio Cuiá (BHRC).

Fig. 1 - Map of the location of the Cuiá River Basin (CRB).

Somente nesse ponto foram indicados no PMSB-JP 11 problemas relacionados a macrodrenagem de um total de 14 problemas dessa natureza recorrentes no município de João Pessoa.

Além disso, entre os anos de 1980 e 2016 foram registradas no município de João Pessoa 15 ocorrências de desastres relacionados com fenômenos naturais que decretaram Situação de Emergência (SE) ou Estado de Calamidade Pública (ECP) pelo governo municipal. Essas informações são da Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de João Pessoa (COMPDEC-JP), os quais foram inseridos junto ao Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD), da Secretaria

Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC) do Ministério do Desenvolvimento Regional (anteriormente chamado de Ministério da Integração Nacional). Entre as ocorrências em João Pessoa registradas no S2iD nesse período, a maior parte está relacionada a eventos de origem hidrometeorológica, mais precisamente nove inundações e três enxurradas (inundação brusca).

Entre os alertas de inundação no período citado acima, é destacado um evento que ocorreu nos dias 03 e 04 de setembro de 2013 que acumulou em um período de 26 horas uma precipitação de 199,4 mm, o que superou o dobro do esperado para todo o mês de setembro, de acordo com o relatório do Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD). Entre as áreas afetadas por alagamentos e inundações nesses dias, encontra-se a BHRC, principalmente no local mais recorrente a eventos de inundação e que está registrado no PMSB-JP, localizado na ponte que liga os bairros de Mangabeira (rua Francisco Porfírio Ribeiro) e Valentina (rua Brasilino Alves da Nóbrega) (Brasil, 2013). O Formulário de Informações do Desastre (FIDE) apresentou imagens da área afetada (fot. 1).



Fot. 1 - Inundação na ponte que liga os bairros de Mangabeira e Valentina e em residências próximas, em João Pessoa-PB (Fonte: Brasil, 2013).

Photo 1 - Flood on the bridge that connects the neighbourhoods of Mangabeira and Valentina and in nearby residences, in João Pessoa-PB (Source: Brasil, 2013).

Delimitação da área de estudo

Este trabalho optou avaliar um trecho da BHRC no qual há o maior número de ocorrências de inundação apontado por Paraíba (2015), no caso, a ponte sobre o rio Cuiá entre os bairros de Mangabeira e Valentina. A área escolhida tem 1,42 km² e foi imageada por um *drone* com o propósito de gerar elementos cartográficos de alta resolução nomeadamente um MDE e um ortomosaico (fig.2) com resoluções espaciais de 0,30 m e 0,07 m, respetivamente.

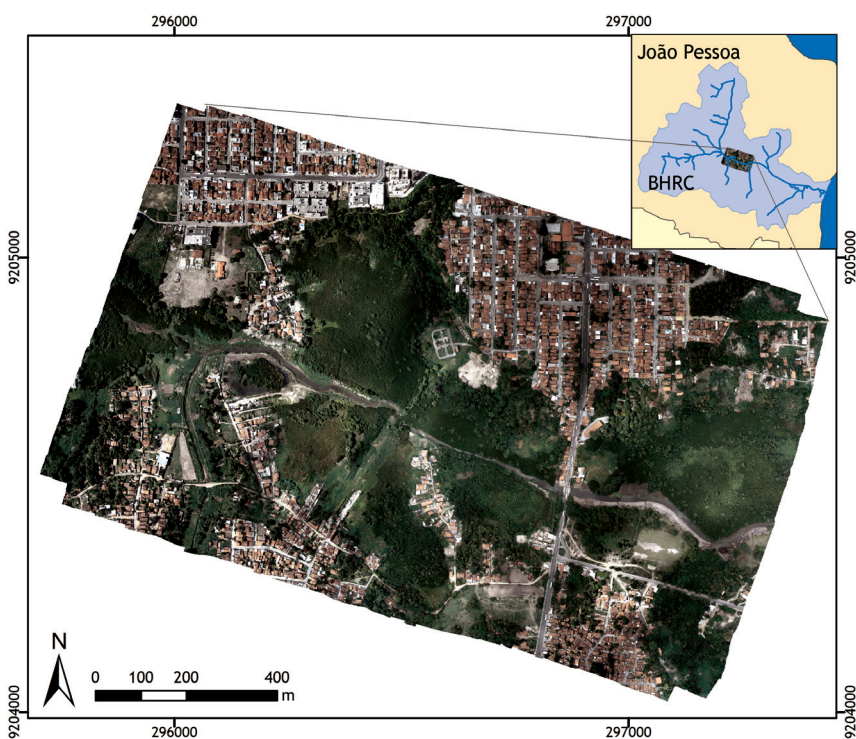


Fig. 2 - Delimitação da área de estudo na Bacia Hidrográfica do rio Cuiá (BHRC).

Fig. 2 - Delimitation of studied area in the Cuiá River Basin (CRB).

Em visita de campo, foram registradas imagens no início de uma enchente que atingiu a ponte sobre o rio Cuiá (área de estudo) no dia 13 de fevereiro de 2019 com uma precipitação de 71 mm (Paraíba, 2019) (fot. 2). Segundo informações da

COMPDEC-JP, foi realizada uma dragagem do leito do rio nesse trecho próximo à ponte no segundo semestre de 2018 para evitar as inundações constantes da via pública, assim como de residências mais próximas ao rio.



Fot. 2 - Registro da área de estudo sobre a ponte do rio Cuiá, ligando a rua Francisco Porfírio Ribeiro, no Bairro de Mangabeira à rua Brasilino Alves da Nóbrega, no Bairro do Valentina: (a) retroescavadeira desassoreando a margem direita à jusante da ponte; (b) terreno localizado na margem esquerda a montante da ponte (Fotografia de Maria Alves, tirada a 13/02/2019).

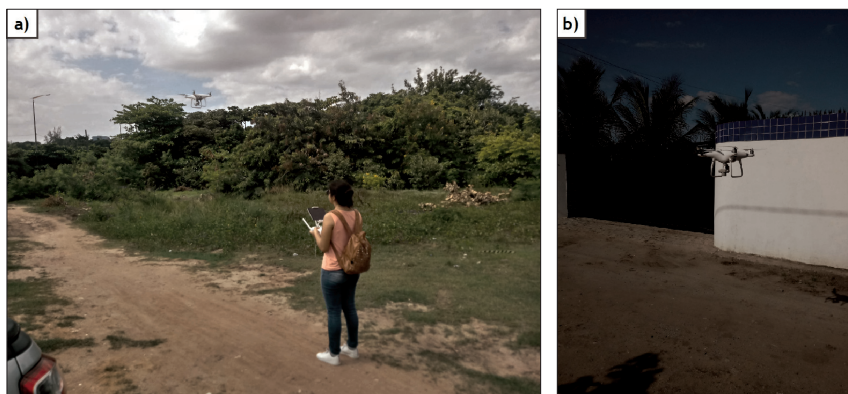
Photo 2 - Record of the study area on the Cuiá river bridge, from Francisco Porfírio Ribeiro street, in the Mangabeira neighbourhood to Brasilino Alves da Nóbrega street, in the Valentina neighbourhood: (a) backhoe desilting the right bank downstream of the bridge; (b) land on the left bank upstream of the bridge (Photography by Maria Alves, taken at 02/13/2019).

Nessa visita de campo foi verificada a presença de uma retroescavadeira em operação na margem direita à jusante da ponte (fot. 2a) realizando manutenção da dragagem para evitar o transbordamento do rio, pois o nível do mesmo encontrava-se elevado em razão das chuvas nesse dia. Também se percebeu que na margem esquerda à montante da ponte (fot. 2b), o nível do rio se elevou consideravelmente mesmo após o desassoreamento realizado no semestre anterior à visita de campo, aproximando-se de um terreno às margens do corpo hídrico.

Procedimentos metodológicos

Para o imageamento da área de estudo foi utilizado o *drone* da marca DJI, modelo *Phantom 4 Pro*, pertencente ao Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia

Ambiental (LARHENA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Centro de Tecnologia (CT), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (DECA). Foram realizados dois voos sequenciais (fot. 3a e 3b) com uma altitude de 120 m para a obtenção de MDE com resolução espacial de 0,30 m. Essa aeronave está devidamente registrada na Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e foi operada segundo as Instruções do Comando da Aeronáutica, a ICA 100/40 (Brasil, 2015).



Fot. 3 - Realização do plano de voo com o drone: (a) operação do drone no ponto de partida do voo 1; (b) drone retornando ao ponto de partida do voo 2
Fotografia de Maria Alves, tirada a 21/02/2019).

Photo 3 - Drone flight plan: (a) operation of the drone at the starting point of Flight 1; (b) drone returning to the starting point of Flight 2 (Photography by Maria Alves, taken at 02/21/2019).

Após a realização dos voos, as imagens foram processadas com uso do programa AgiSoft® Metashape - licença gentilmente cedida pela empresa Go Engenharia e Construções, localizada em João Pessoa-PB, Brasil -, um dos *softwares* mais utilizados para a formulação de modelos digitais de elevação (Biggs, 2019). Nesse processamento as imagens foram alinhadas no sistema de coordenadas com projeção UTM, zona 25S no *Datum* SIRGAS 2000. A etapa seguinte foi realizar um ajuste interno automático para alinhar as imagens segundo as características do sensor de imageamento do *drone*. Foi inserido um ponto de controle (localizado na ponte sobre o rio Cuiá com cota de 4,13 m) para corrigir a variação vertical e horizontal do GPS do drone.

Os passos seguintes foram realizados até obter-se uma nuvem densa de pontos para então ser gerado o Modelo Digital de Superfície (MDS), que consiste na representação do terreno a partir dos valores altimétricos inerentes às edificações, à copa das árvores e a outros acidentes artificiais geradas a partir da reflectância dos pixels (Cruz *et al.*, 2011; Egg, Gripp e Medeiros, 2013). Após o processamento, chegou-se à resolução espacial do MDS de 0,30 m, enquanto que a ortofoto gerada foi de 0,07 m de resolução espacial numa área total de 1,42 km², correspondente a cerca de 3,54% da área da BHRC.

Para chegar-se ao Modelo Digital de Terreno (MDT), que considera apenas a representação do terreno sem a presença de prédios e vegetação (Pacheco *et al.*, 2011), foi preciso classificar o terreno entre solo, edificações e vegetação para então excluir o que estava acima do solo. Segundo Mengue *et al.* (2017), o MDT é o modelo ideal para se trabalhar com o HAND, pois ao deixar as elevações acima do terreno, representadas no MDS, podem interferir na direção de fluxo do modelo. A resolução espacial final do MDT também foi de 0,30 m, com uma variação altimétrica de 0,1 a 62,3 m (fig. 3).

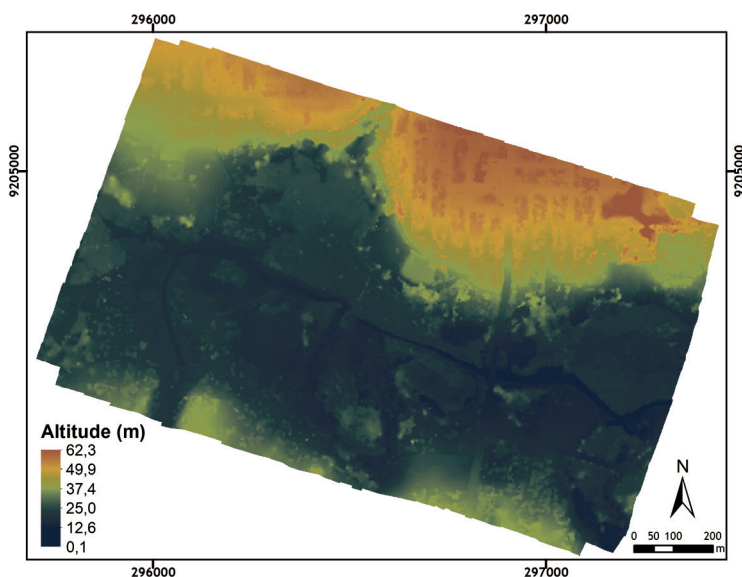


Fig. 3 - Modelo Digital de Terreno da área de estudo.

Fig. 3 - Digital Terrain Model of the study area.

Funcionamento do modelo HAND

O modelo HAND é um algoritmo que tem a função de estimar a inundação em determinada região de maneira relativamente simples. Ele precisa apenas do MDT como dado de entrada e de dados de campo acerca da altura máxima de inundação a partir de eventos anteriores para entregar como produto uma mancha de inundação subdividida em classes de suscetibilidade à ocorrência das enchentes. Ele basicamente zera a altitude do canal de drenagem com base na diferença da altitude do terreno e do canal de drenagem principal, com este tornando-se a nova referência topográfica relativa plana e não mais o nível do mar. Como saída, ter-se-á um MDT com alturas normalizadas que é o próprio modelo HAND (Rennó *et al.*, 2008; Nobre *et al.*, 2011; Momo *et al.*, 2016). Goerl, Michel e Kobiyama (2017) explicam que quanto menor a distância de um determinado ponto da rede de drenagem mais próxima e, quanto menor a diferença altimétrica deste local ao canal de drenagem, maior será a propensão desse ponto a inundar.

Segundo Momo *et al.* (2016), a qualidade do produto final está estritamente relacionada com a resolução espacial do dado topográfico utilizado, ou seja, quanto menor a diminuição do pixel, maior a precisão e o delineamento da mancha de inundação. Esses autores utilizaram MDTs com resolução espacial de 1,0 m, assim como Goerl, Chaffe *et al.* (2017), Milanesi, Quadros e Lahm (2017) e Zanandrea *et al.* (2018), com o objetivo de obter resultados com alta precisão. Contudo, há a desvantagem de necessitar de um maior tempo de processamento, assim como de *hardwares* com boa configuração para alcançar o produto final.

Extração da rede de drenagem

Para a extração da rede de drenagem foi utilizado o *software* livre TerraView 4.2.2, também desenvolvido pelo INPE. Este *software* possui a extensão chamada TerraHidro que conta com as ferramentas *Hydrological Tools*, necessárias para chegar ao resultado final do modelo HAND. O programa foi utilizado em diversos trabalhos que obtiveram bons resultados na modelação HAND, nomeadamente os realizados por Mengue, Scottá, Silva e Farina (2016), Goerl, Chaffe *et al.* (2017),

Goerl, Michel e Kobiyama (2017), Mengue *et al.* (2017), Milanese, Quadros e Lahm (2017) e Speckhann, Chaffe, Goerl, Abreu e Flores (2017).

O MDT foi importado para o TerraView 4.2.2 para proceder à modelação hidrológica. Inicialmente foi utilizada a ferramenta *flow extraction* para determinar a matriz das direções dos fluxos da drenagem no MDT por meio do método *Deterministic Eight-Neighbors (D8)* desenvolvido por O'Callaghan e Mark (1984). Esse método avalia o valor altimétrico de um *pixel* central em relação aos seus oito vizinhos e em seguida determina qual será a direção do fluxo de drenagem desse *pixel* central a partir da declividade do terreno e da ação gravitacional (Momo *et al.*, 2016).

Em seguida, ainda com a ferramenta *flow extraction*, foi realizado a correção das depressões do MDT oriundos das imperfeições naturais do terreno ou mesmo erros gerados na formulação do MDT. A operação de preenchimento (*fill* em inglês) das pequenas depressões (*sinks* ou *pits* em inglês) ou remoção dos picos do MDT é importante para assegurar a obtenção de uma rede de drenagem contínua permitindo a água escoar (Rennó *et al.*, 2008; Momo *et al.*, 2016; Goerl, Chaffe *et al.*, 2017). No final deste procedimento, chegou-se à chamada matriz LDD (*Local Drain Directions*) corrigida, que é representada por setas indicando o direcionamento do fluxo de drenagem.

O passo seguinte foi a criação da matriz de acumulação do escoamento através da função *contributing area* que necessitou dos valores altimétricos do MDT e da matriz da direção de fluxo do LDD. De acordo com O'Callaghan e Mark (1984) e Nobre *et al.* (2011), basicamente neste processo é computado quantos *pixels* de maior valor altimétrico são direcionados para *pixels* que representam uma menor altitude, de acordo com a direção de fluxo gerado pelo LDD. Assim, ao final tem-se uma matriz representando os elementos com o maior acúmulo de *pixels* a estes direcionados. O passo seguinte foi a definição da rede de drenagem a partir da matriz acumulação de escoamento utilizando a ferramenta *drainage extraction*. Foi fixado um valor (ou atributo) mínimo de acumulação de água que permitiu delinear a rede de drenagem. Assim, quanto menor for o valor do limiar escolhido, maior será a quantidade de *pixels* encontrados e, conseqüentemente, maior será a densidade de drenagem (O'Callaghan e Mark, 1984; Rennó *et al.*, 2008; Nobre *et al.*, 2011; Momo *et al.*, 2016). Através da comparação do *shapefile* da rede de drenagem real da BHRC utilizado no PMSB-JP (Paraíba, 2015), foi definido um limiar de drenagem de 500.000 *pixels* de

acumulação. Isso permitiu definir os canais de drenagem semelhantes aos da rede real, correspondendo a uma área de 0,045 km² (fig. 4).

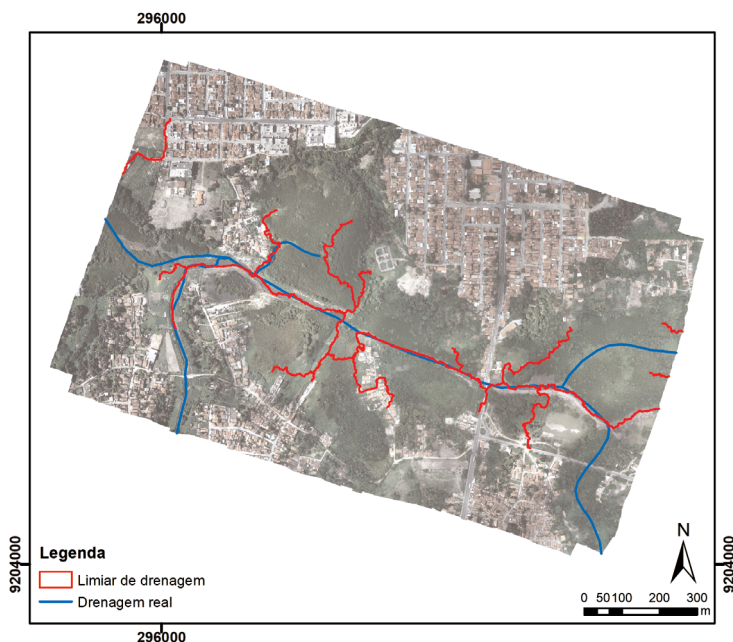


Fig. 4 - Mapa da drenagem principal no trecho de estudo do rio Cuiá e do limiar de drenagem escolhido.

Fig. 4 - Map of the main drainage in the study section of the River Cuiá and the chosen drainage threshold.

Nesse processo foram considerados alguns trechos da imagem que apareceram como rede de drenagem mesmo sem estarem presentes no *shapefile* de referência, pois ao elevar o valor do limiar de drenagem, alguns trechos da drenagem principal deixavam de ser representados.

Obtenção do produto final do descritor de terreno HAND

Para alcançar o resultado final - o mapa HAND, foram sobrepostos os resultados obtidos pela ferramenta "HAND" do *software* Terraview 4.2.2, nomeadamente o

LDD, a área total acumulada e a rede de drenagem formando um único produto, o MDT normalizado. Em seguida, utilizou-se o *software* ArcGIS® ArcMap™ 10.2 (licença gentilmente cedida pelo Laboratório de Cartografia Social – LCS, Departamento de Geociências da Universidade Federal da Paraíba), para subdividir o HAND em três classes de suscetibilidade à inundação: baixa, média e alta, com a altura máxima de inundação definida a partir de dados coletados em campo.

Para definir a altura máxima de inundação tomou-se como referência os trabalhos de Goerl, Michel e Kobiyama (2017) e Zanandrea *et al.* (2018) nos quais utilizaram dados de campo, ou seja, marcações de inundações anteriores em suas respectivas áreas de estudo. Posteriormente, verificaram se esses pontos se encontravam dentro da mancha de inundação gerada pelo HAND. Neste trabalho foram realizadas duas visitas a campo junto com a COMPDEC-JP nos dias 15 de janeiro de 2019 e 11 de abril de 2019 a fim de coletar as marcações de inundações anteriores (fig. 5).

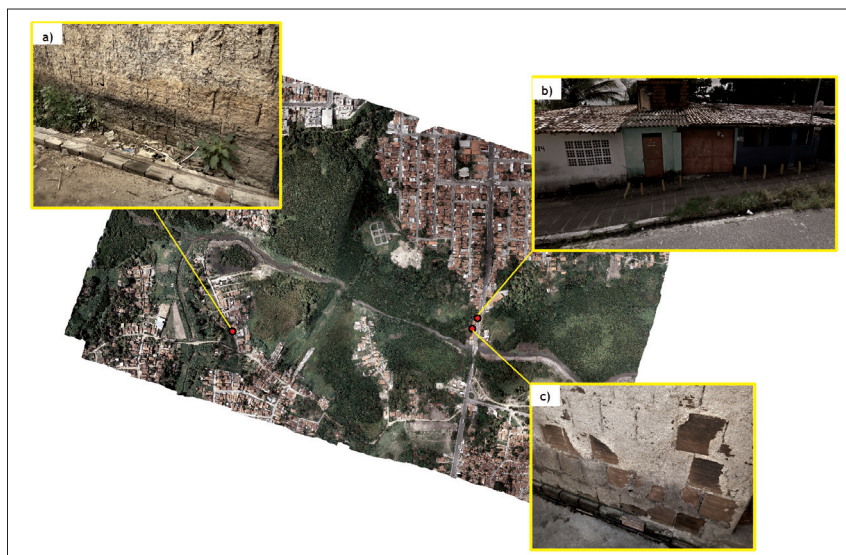


Fig. 5 - Pontos de inundação na área de estudo: (a) marca da água na parede externa de uma residência em uma comunidade próxima ao rio (11/04/2019); (b) marca da água na parede externa de uma residência próxima à ponte (Imagem de *Google Earth Street View*); (c) marca da água na parede no interior de uma residência próxima à ponte (15/01/2019).

Fig. 5 - Flood points in the study area: (a) water stains on the outer wall of a house in a community near the river (04/11/2019); (b) water stains on the outer wall of a house near the bridge (Image from *Google Earth Street View*); (c) water stains on the wall inside a house near the bridge (01/15/2019).

Ao todo foram coletados três pontos (marcações) na área de estudo (fig. 5) e todos os eventos ocorreram anteriormente à dragagem realizada no trecho em estudo do rio Cuiá no segundo semestre de 2018. Segundo a COMPDEC-JP, após a intervenção no rio (dragagem), seu nível foi rebaixado em 1 metro e isso foi levado em consideração neste trabalho. Verificou-se que o ponto mais distante (fig. 5b) estava localizado 3 m acima do nível do rio e, portanto, este foi tomado como referência para a altura máxima de inundação na situação anterior à dragagem.

Adicionalmente, foram identificadas as residências que se encontravam no interior da Área de Preservação Permanente (APP) em torno dos cursos de água, instituído pela Novo Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651/2012) em seu Art. 4º:

“Considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para os efeitos desta Lei:

I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de: (Inciso com redação dada pela Lei nº 12.727, de 17/10/2012).

a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura [...]” (Brasil, 2012).

A mesma Lei, em seu Art. 8º, § 2º, diz que só poderá haver supressão ou intervenção na vegetação das APPs nas hipóteses de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto social. Adicionalmente, foi avaliado o Plano Diretor mais recente do Município de João Pessoa (João Pessoa, 2009) que apresenta em seu Art. 58A, § 2º, inciso V a afirmação: “[...] *ser área localizada em Área de Preservação Permanente - APP, nos termos da Lei Federal nº 4.771/65 [substituída pela Lei Federal nº 12.651/2012], atendida a excepcionalidade dos casos de regularização fundiária de interesse social, previstos na legislação*” (João Pessoa, 2009). Para sobrepor essas informações, foi avaliado o “Mapa da Cidade de João Pessoa – Comunidade e ZEIS” (Zonas Especiais de Interesse Social) (João Pessoa, 2021). Portanto, para realização deste estudo foi utilizado o *shapefile* da delimitação das APPs em torno dos rios da Prefeitura Municipal de João Pessoa.

Resultados e Discussão

Os resultados foram baseados no MDT gerado a partir de imagens capturadas por *drone* após a dragagem do rio Cuiá (realizada no segundo semestre de 2018), próximo à ponte que liga os bairros de Mangabeira e Valentina, em João Pessoa-PB. Sabe-se que o terreno próximo à calha principal do rio sofreu algumas mudanças devido ao desassoreamento, logo deve-se levar em consideração que os resultados apresentados antes da dragagem se tratam de uma aproximação da realidade.

Como dito, o nível do rio, anterior à dragagem, encontrava-se 1 m mais elevado em relação ao período do estudo (primeiro semestre de 2019). Portanto, o rio precisaria subir cerca de 2 m para atingir o ponto de inundação mais elevado coletado em campo. Assim, foi tomado como base uma elevação total do rio de 3 m para verificar se a mancha de inundação modelada pelo HAND realmente atingiu esses pontos coletados em campo.

Para a segunda simulação (após a dragagem), levou-se em consideração que o nível do rio sobe cerca de 2 m. Para o mesmo ponto (o mais elevado) ser atingido após a dragagem, que rebaixou o nível do rio em cerca de 1 m, a lâmina de água precisaria subir 3 m, que não acontece na prática. Partindo dessa observação, em uma possível inundação após a dragagem, o rio também deveria elevar-se somente em 2 m e dessa forma foi verificado se a dragagem foi eficiente para reduzir o risco de inundação dessa população localizada próxima ao rio Cuiá.

Dessa forma, foram elaborados dois mapas para verificar a suscetibilidade à inundação para a condição anterior (primeira simulação) e posterior (segunda simulação) à dragagem.

Primeira simulação

Para simular a inundação anterior ao desassoreamento do rio, foram utilizadas três classes de suscetibilidade à inundação com intervalos de 1 m cada: alta (0,01 – 1,00 m), que representa a elevação de 1 m referente à situação anterior à dragagem; média (1,01 – 2,00 m); e baixa (2,01 – 3,00 m). Os pontos em vermelho representam os

pontos de inundações anteriores verificados *in loco*, e é possível verificar que nessa primeira simulação eles se encontram inseridos na área de baixa suscetibilidade à inundação (fig. 6). Isso quer dizer que esses locais só são atingidos pela enchente do rio Cuiá quando há uma precipitação como a que causou a inundação em setembro de 2013 (fot. 1) a partir de uma precipitação de 199,41 mm em um período de 26 horas e que alcançou a marca de inundação mais elevada verificada na área de estudo (fig. 6a). Contudo, os locais que se encontram na área de alta e média suscetibilidade podem ser atingidos com chuvas de menor intensidade, por se localizarem mais próximos ao canal principal e por possuírem uma diferença altimétrica igual ou inferior a 2,00 m.

A mancha de inundação nessa primeira simulação apresenta algumas ruas como canais de drenagem próximas ao rio Cuiá, pois encontram-se na mesma elevação do canal principal (fig. 6). Isso ocorreu devido à escolha do limiar de drenagem para a elaboração da rede de drenagem e que não pode ser modificado apenas em algumas regiões do terreno. Quando se elevava o valor desse atributo, alguns trechos da drenagem principal não eram representados, sendo preciso reduzir o valor da área mínima de contribuição para conseguir representar todo o canal principal, deixando a drenagem do rio Cuiá mais ramificada, ou seja, com mais afluentes.

Próximo à ponte, nas margens do rio Cuiá (fig. 6a), foram construídas elevações de terra para servirem como caminhos para a passagem das máquinas que executaram a dragagem do leito do rio (fot. 2a). Segundo informações da COMPDEC-JP essas elevações formaram um dique que dificulta o escoamento da água do terreno adjacente para o leito do rio, formando alagamentos em torno dessas áreas. Portanto, isso também foi considerado na verificação de locais que acumulam água apresentados no modelo HAND, bem como os que estão distantes do leito do rio e que apresentam as mesmas cotas altimétricas.

Avaliando os três pontos de inundação coletados em campo, foi visto que dois deles (fig. 6a) correspondem à mesma área indicada no PMSB-JP (Paraíba, 2015) como propensa à inundação na BHRC e se encontram na classe de baixa suscetibilidade à inundação. Como se pode ver, foi realizada uma sobreposição da mancha com certa transparência a fim de identificar se as residências em torno do rio eram afetadas pelas cheias, e foi constatado que algumas casas são sim atingidas como está representado pelos pontos em vermelho (fig. 6a) e pelas marcações de inundações anteriores (fig. 5b e 5c).

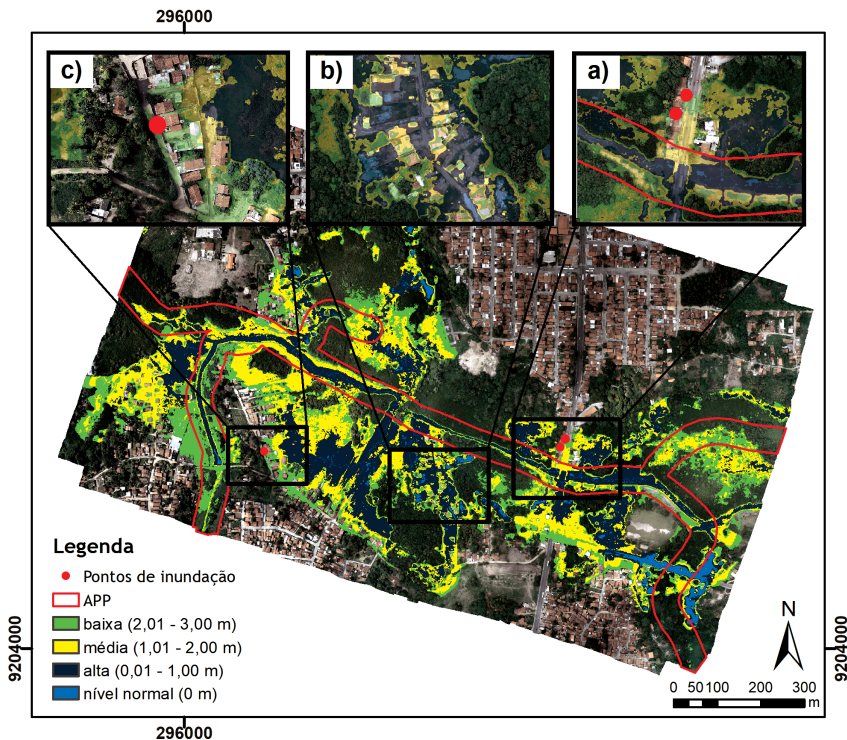


Fig. 6 - Mapa de suscetibilidade à inundação da área de estudo antes do desassoreamento do rio Cuiá utilizando o modelo HAND: a) dois pontos de inundação próximos à ponte sobre rio Cuiá; b) região com mesma cota altimétrica que a drenagem principal; c) ponto de inundação afetado pela área de baixa suscetibilidade   inundação.

Fig. 6 - Flood susceptibility map of the study area before the desilting of the River Cuiá using the HAND model: a) two flood points near the bridge over the River Cuiá; b) region with the same elevation as the main drainage; c) flood point affected by the area of low susceptibility to flooding.

O modelo HAND identificou algumas áreas como alagáveis, como   possível ver a mancha de inundação sobre uma comunidade em torno do rio Cuiá (fig. 6b). V -se que muitas residências são atingidas desde a eleva o mais baixa pois a água não tem por onde escoar em razão dos diques às margens do rio Cuiá. Portanto, se acumulam nessas áreas, pois possuem a mesma cota altimétrica do canal principal.

O último ponto de inundação (fig. 6c) se encontra dentro da classe de baixa suscetibilidade   inundação, também decorrente o alagamento da área em questão.

Com isso foi visto que na primeira simulação todos os pontos coletados em campo foram atingidos pela simulação do modelo HAND, representando uma aproximação da realidade antes da dragagem. Avaliando a sobreposição da mancha de inundação na ortofoto (fig. 6), foram contabilizadas cerca de 252 residências, entre áreas inundáveis e alagáveis, em uma área de 0,41 km².

Segunda simulação

A segunda simulação considera que, após a dragagem, o rio se elevaria em até 2 metros em relação ao seu nível normal. Logo, ela também foi dividida em três classes de suscetibilidade, porém agora com altura máxima de 2 m da lâmina de água: alta (0,01 – 0,67 m); média (0,68 – 1,33 m); e baixa (1,34 – 2,00 m). Os pontos coletados em campo, que estavam dentro da faixa de baixa suscetibilidade na primeira simulação, não foram atingidos pela segunda simulação do modelo HAND (fig. 7). Nesta segunda simulação foram contabilizadas cerca de 124 residências afetadas pela mancha de inundação, ou seja, a dragagem contribuiu positivamente para a redução do risco de inundação de 50,8% das residências e a área suscetível passou para 0,28 km², uma diminuição de 31,5%.

Como previsto, após a dragagem do rio, algumas áreas anteriormente afetadas na primeira simulação não foram mais representadas na segunda simulação (fig. 7). A partir de informações coletadas em campo junto com a COMPDEC-JP, não houve registro de inundações por parte da população especificamente nos pontos coletados como inundáveis após a realização do desassoreamento do rio no segundo semestre de 2018. De agosto de 2018 a abril de 2021, a maior precipitação acumulada no município de João Pessoa foi de 167,8 mm em um período de 8 horas no dia 26/02/2021, superando em 55% a média dos últimos 30 anos para o mês de fevereiro, o que causou inundações na ponte da área de estudo (via de tráfego intenso) mas que não chegou adentrar as residências (Nunes, Vital e Quintans, 2021). Isso mostra que a dragagem contribuiu positivamente para a redução de inundações das residências nessa área específica na BHRC.

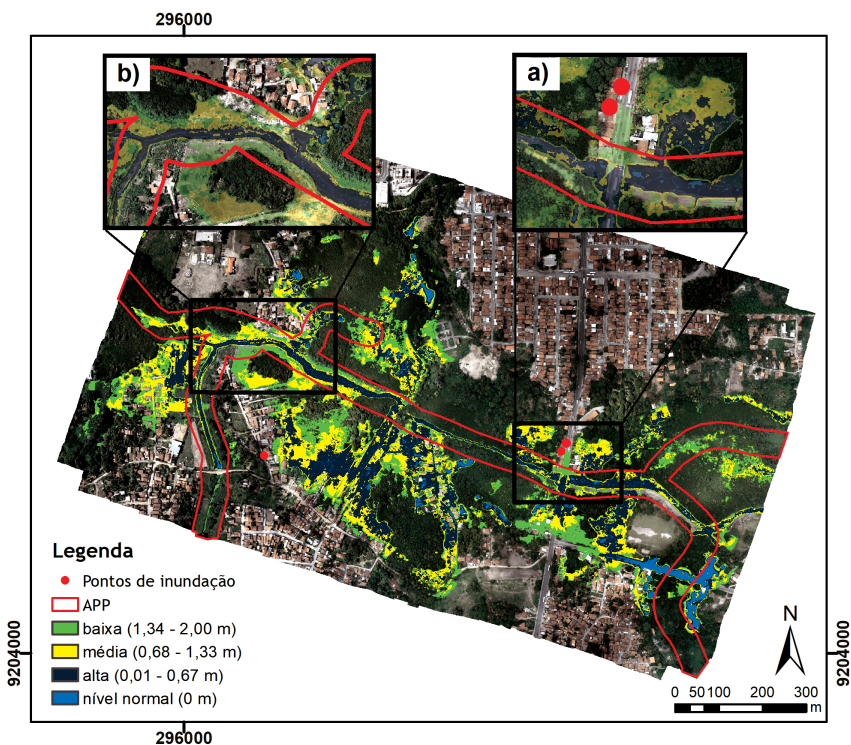


Fig. 7 - Mapa de suscetibilidade à inundação da área de estudo após a dragagem do rio Cuiá utilizando o modelo HAND: (a) seta indicando início da construção de um terreno às margens do rio Cuiá; (b) residências dentro da faixa de APP.

Fig. 7 - Flood susceptibility map of the study area after dredging of the Cuiá River using the HAND model: a) arrow pointing to start of construction of a plot on the banks of the Cuiá River; b) residences within the APP rang.

Segundo Mendes e Lima (2007), as dragagens realizadas para retirar grande quantidade de sedimentos do leito dos rios são intervenções antrópicas que não atuam na origem do problema nas vertentes da bacia hidrográfica e por esse motivo precisam ser feitas periodicamente. A realização dessas operações faz com que a população permaneça onde está (em áreas propensas à ocorrência de desastres), pois não sofre mais com inundações, muitas vezes não aceitando se deslocar para locais mais seguros. Essa decisão não é a mais apropriada para a redução de risco de desastres, pois caso a administração pública passe a não realizar as dragagens com frequência, as residências voltarão a ser inundadas.

No Brasil, a Lei Federal nº 12.651/2012 protege as margens dos rios (planícies de inundação) de acordo com a sua largura, as APPs (Brasil, 2012). Também foi avaliado o Plano Diretor de João Pessoa, que segue as mesmas instruções do Novo Código Florestal (João Pessoa, 2009). Contudo, viu-se que o município de João Pessoa permite a permanência de casas nessas APPs caso estejam localizadas em Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS). No caso do rio Cuiá que possui uma largura inferior a 10 metros, segundo a Lei, deve ser reservada uma mata ciliar de 30 metros para cada margem, e esta distância é respeitada na *shapefile* da APP fornecido pela PMJP. Notou-se em visita de campo que uma parte da população ribeirinha desobedece esse limite, interferindo, dessa forma, na dinâmica hídrica do rio como é o caso da própria enchente que é um processo natural. Essa interferência acontece a partir de práticas com a deposição de resíduos sólidos e desmatamento da mata ciliar, o que potencializa o processo de assoreamento do rio.

Foi realizado um cruzamento das ZEIS presentes na área de estudo com a delimitação da APP e a mancha de inundação de até 2 m e constatou-se que das nove casas que estão no interior da APP, apenas três residências sofreriam inundação, estando na faixa de baixa suscetibilidade à inundação, e nenhuma delas se enquadram como ZEIS (fig. 7a e 7b).

O terreno preparado para construção de uma casa às margens do rio Cuiá (fot. 2b) encontra-se no interior da APP, apresentado no retângulo preto (fig. 7a). Segundo informações da COMPDEC-JP, houve uma intervenção no local quando estava sendo aplainado o piso do terreno e a obra foi interdita. Essa área pertence à planície de inundação do rio e, portanto, deve ser destinada a este fim. Um pouco mais à montante desse local (fig. 7b) foram identificadas cinco residências contruídas dentro da APP do rio Cuiá e que, segundo a modelagem da mancha de inundação, pertence a uma área inundável.

Mesmo antes da realização da dragagem alguns moradores não registravam ocorrência de inundação em suas residências, pois negavam-se a deixar suas casas para morarem em locais mais seguros. Próximo da área de estudo há um conjunto habitacional construído pela prefeitura e destinado a essa população que é atingida pelas cheias do rio Cuiá. Muitos moradores não querem se mudar confiando na dragagem realizada no canal. Entretanto, se essa intervenção não for realizada frequentemente, os problemas poderão voltar a acontecer.

Para minimizar os transtornos causados pelas inundações é importante que haja um trabalho de educação ambiental com os moradores dessa área, como a distribuição de cartilhas informativas nas residências e a combinação de atividades audiovisuais e uso de ferramentas interativas (Aghaei, Seyedin e Sanacinasab, 2018), em escolas próximas dessa região. É necessário abordar temas como a disposição correta de resíduos sólidos e do esgoto doméstico e o combate ao desmatamento da mata ciliar. Práticas que evitariam o carreamento do solo exposto e de matéria orgânica e, conseqüentemente, o assoreamento e a eutrofização do rio. Além disso, é preciso que haja uma fiscalização atuante por parte da COMPDEC-JP para que não sejam construídas novas residências nesse local.

Conclusões

Este trabalho evidenciou que o trecho da Bacia Hidrográfica do rio Cuiá estudado necessita de cuidados ambientais, tanto por parte da população residente quanto por parte do governo municipal, para a redução de risco de desastres por inundação.

As simulações realizadas com o modelo HAND mostraram que a APP ocupada por parte da população é suscetível a eventos de inundação. A primeira simulação, que considerou a elevação de 3 m do nível normal do rio, modelou uma inundação que cobriu todos os pontos coletados em campo como inundáveis e também apresentou locais alagáveis, pois situam-se na mesma cota altimétrica do rio. Analisando a segunda simulação, após o desassoreamento do rio, verificou-se que os pontos inundados anteriormente não se encontravam mais no interior da mancha de inundação.

Desse modo, a dragagem mostrou-se eficiente para evitar as inundações em algumas residências, apresentando resultados positivos em um curto período de tempo. De acordo com o modelo HAND, ela conseguiu reduzir em 50,8% o número de casas suscetíveis a inundação e em 31,5% a área total afetada pelas cheias. Contudo, a dragagem pode ser considerada como um paliativo, pois pode transferir problemas relacionados a inundação para a jusante, além de ser uma prática considerada agressiva ao rio.

Agradecimentos

O nosso agradecimento à Go Engenharia e Construções. Local: João Pessoa-PB, Brasil, licença do programa AgiSoft® Metashape, para processamento das imagens, gentilmente cedida pela empresa e ao Laboratório de Cartografia Social – LCS, Departamento de Geociências da Universidade Federal da Paraíba pela cedência da licença do software ArcGIS® ArcMap™ 10.2.

Referências

- Aghaei, N., Seyedin, H., e Sanaeinasab, H. (2018). Strategies for disaster risk reduction education: A systematic review. *J Edu Health Promot*, 7, 98-105. DOI: https://doi.org/10.4103/jehp.jehp_31_18
- Antunes, A. F. B. e Hollatz, R. C. V. (2015). Cadastro Técnico Multifinalitário de baixo custo utilizando VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado). *Anais. XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR*, João Pessoa, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE.
- Biggs, H. (2015). Drones in Hydraulics. *Hydrolink*, 1, 4-6. ISSN 1388-3445.
- Brasil. *Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012*. (2012). Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166- 67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, 2012.
- Brasil. Ministério da Defesa (2015). *Tráfego aéreo. ICA 100-40: Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro*. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. 76 p.
- Brasil. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (2013). Formulário de Informações do Desastre do dia 03 de setembro de 2013, João Pessoa. Sistema Integrado de Informações sobre desastres (S2iD). 74 p. Disponível em: <https://cdn.labtrans.ufsc.br/s2id/PB/PB-F-2507507-13214-20130903.pdf> (Acesso em: 21 Abri. 2021).
- Braz, A. M., Borges, J. P. S., Bernardes, D. C. S., e Terezan, L. H. (2015). Análise da aplicação de VANT na atualização de cadastro florestal com uso de pontos de controle. *Anais. XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, João Pessoa, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2751–2758.
- Cruz, C. B. M. (2011). Avaliação da exatidão planialtimétrica dos modelos digitais de superfície (MDS) e do terreno (MDT) obtidos através do LIDAR. *Anais. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Curitiba, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.
- Egg, G. C., Gripp, J., e Medeiros, N. G. (2013). Geração de modelos digitais de superfície compostos utilizando imagens do sensor PRISMprism/ALOS.alos *Revista Brasileira de Cartografia*, 65/5, 951-966. ISSN: 1808-0936.

- Filgueira, H. J. A., Nascimento, A. C. A. V., Clemente, J. C., e Targino, R. A. (2009). Assentamentos informais em áreas de risco: um caso de estudo em João Pessoa, Paraíba, Brasil. *Cuadernos De Vivienda Y Urbanismo*, 2(3), 72-91. ISSN: 2027-2103.
- Goerl, R. e Kobiyama, M. (2013). Redução dos desastres naturais: desafio dos geógrafos. *Ambiência (Online)*, 9/1, 145-172. ISSN: 1808-0251.
- Goerl, R. F., Chaffe, P. L. B., Speckhann, G. A., Pellerin, J. R. G. M., Flores, J. A. A., Abreu, J. J., e Sanchez, G. M. (2017). O modelo HAND como ferramenta de mapeamento de áreas propensas a inundar. *XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Florianópolis, 1-8.
- Goerl, R. F., Michel, G. P., e Kobiyama, M. (2017). Mapeamento de áreas susceptíveis a inundação com o modelo HAND e análise de seu desempenho e diferentes resoluções espaciais. *Revista Brasileira de Cartografia*, 69/1, 61-69, 2017b. ISSN: 1808-0936.
- INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (2020). *Gráfico Comparativo Precipitação Acumulada (mm) – Estação: João Pessoa (82798)*. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/Graficos-Climatologicos/DF/83377> (Acesso em: 02 dez. 2020).
- JOÃO PESSOA (2009). *Decreto n.º 6.499 de 20 de março de 2009*. Consolida a lei complementar n.º 054, de 23 de dezembro de 2008, às disposições da lei complementar n.º 03 de 30 de dezembro de 1992. João Pessoa.
- JOÃO PESSOA. DIRETORIA DE GEOPROCESSAMENTO E CADASTRO (2021). Mapa das Comunidades e Zonas Especiais de Interesse Sociais-ZEIS. Disponível em: http://geo.joaopessoa.pb.gov.br/digeoc/mapas2021/COMUNIDADES_E_ZEIS/ MapaJoaoPessoa90x90_ComunidadesZEIS.pdf (Acesso em: 28 Abri. 2021).
- Klemas, V. V. (2015). Coastal and Environmental Remote Sensing from Unmanned Aerial Vehicles: An Overview. *Journal of Coastal Research*, 31/5, 1260-1267.
- Longhitano, G. A. (2010). *VANTS para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas*. Dissertação de mestrado (Mestre em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 163 p.
- Macklin, M. G. e Lewin, J. (2015). The rivers of civilization. *Quaternary Science Reviews*, n.º 114, 228-244.
- Mendes, C. A. B. e Lima, W. P. (2007). Análise de impactos ambientais de florestas plantadas, no contexto de bacias hidrográficas: princípios norteadores. *Anais. I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico*, Taubaté, IPABHI, 263-270.
- Mengue, V. P., Scottá, F. C., Silva, T. S., e Farina, F. (2016). Utilização do Modelo HAND para mapeamento das áreas mais susceptíveis à inundação no Rio Uruguai. *Pesquisas em Geociências*, 43/1, 41-53. DOI: <https://doi.org/10.22456/1807-9806.78191>
- Mengue, V., Guerra, R., Monteiro, D., Moraes, M., e Vogt, H. (2017). Análise da expansão urbana em áreas susceptíveis à inundação utilizando o modelo HAND: o caso da Região Metropolitana de Porto Alegre, Brasil. *GOT - Revista de Geografia e Ordenamento do Território*, 12, 231-253. DOI: <http://dx.doi.org/10.17127/got/2017.12.010>
- Milanesi, J., Quadros, E. L. L., e Lahm, R. A. (2017). Utilização do Modelo HAND no reconhecimento dos terrenos sujeitos a inundação – Porto Alegre/RS. *Revista Brasileira de Cartografia*, 69/4. ISSN: 1808-0936.

- Momo, M. R., Pinheiro, A., Severo, D. L., Cuartas, L. A., e Nobre, A. D. (2016). Desempenho do modelo HAND no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação usando dados de alta resolução espacial. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 21/1, 200-208.
DOI: <https://doi.org/10.21168/rbrh.v21n1.p200-208>
- Moura, L. H. M. (2016). *Entendendo as vulnerabilidades para a percepção do risco a desastre: um estudo de caso na Comunidade Santa Clara, João Pessoa, Paraíba*. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 56 p.
- Nobre, A. D., Cuartas, L. A., Hodnett, M., Rennó, C. D., Rodrigues, G., Silveira, A., Waterloo, M., e Saleska, S. (2011). Height above the Nearest Drainage, a hydrologically relevant new terrain model. *Journal Hydrology*, 404/1-2, 13–29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.03.051>
- Nobre, A. D., Cuartas, L. A., Momo, M. R., Severo, D. L., Pinheiro, A., e Nobre, C. A. (2016). HAND contour: a new proxy predictor of inundation extent. *Hydrological Processes*, 30, 320–333. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.10581>
- Nunes, G., Vital, J., e Quintans, A. (2021). *Em apenas 8 horas, chuva em João Pessoa supera média histórica de 30 anos para fevereiro*. Disponível em: <https://www.joaopessoa.pb.gov.br/noticias/secretarias-e-orgaos/em-apenas-8-horas-chuva-em-joao-pessoa-supera-media-historica-de-30-anos-para-fevereiro/> (Acesso em: 22 abr. 2021).
- O’Callaghan, J. F. e Mark D. M. (1984). The extraction of drainage networks from digital elevation data. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 28, 323–344.
- Pacheco, A. P., Centeno, J. A. S., Assunção, M. G. T., e Botelho, M. F. (2011). Classificação de pontos LIDAR para a geração do MDT Bol. *Ciênc. Geod. (Online)*, 17/3. ISSN 1982-2170.
- Paraíba (2015). *Plano Municipal de Saneamento Básico de João Pessoa – PMSB-JP*. Versão Preliminar. Prefeitura Municipal de João Pessoa, Semanário Oficial Nº 1509, 2015. 458 p. (Edição Especial).
- Paraíba. Agência Executiva de Águas da Paraíba (2019). *Meteorologia – Chuvas – Gráfico. Precipitações em João Pessoa no mês de fevereiro/2019*. Disponível em: http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas-grafico/?id_municipio=95edate_chart=2019-02-28period=month (Acesso em: 29 Mar. 2019).
- Reis, A. L. Q. (2010). *Índice de Sustentabilidade aplicado à bacia do rio Cuiá – João Pessoa (PB)*. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA) Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 137 p.
- Rennó, C., Nobre, A. D., Cuartas, L. A., Soares, J. V., Hodnett, M. G., Tomasella, J., e Waterloo, M. (2008). HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. *Remote Sensing of Environment*, 112, 3469-3481. ISSN: 0034-425.
- Speckhann, G. A., Chaffe, P. L. B., Goerl, R. F., Abreu, J. J., e Flores, J. A. A. (2017). Flood hazard mapping in Southern Brazil: a combination of flow frequency analysis and the HAND model. *Hydrological Sciences Journal*, 63/1, 87-100.
DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2017.1409896>
- UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES - CEPED. (2013). *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012 - Volume Brasil*. 2ª ed. Florianópolis: UFSC/CEPED, 127 p.

- UNISDR – UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTERS REDUCTION (2012). *Como Construir Cidades Mais Resilientes: Um Guia para Gestores Públicos Locais*. Genebra: UNISDR.
- Wallace, P., Martin, R., e White, I. (2017). Keeping pace with technology: drones, disturbance and policy deficiency. *Journal of Environmental Planning and Management*, 61/7, 1271-1288. DOI: <https://doi.org/10.1080/09640568.2017.1353957>
- Zahed Filho, K., Martins, J. R. S., e Porto, M. F. A. (2012). *Fascículo 3: Inundações Urbanas. Água em Ambientes Urbanos*. Coleção Águas Urbanas. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 21p.
- Zanandrea, F., Vanelli, F. M., Tavares, T. G. A., e Goldenfum, J. A. (2018). Delimitação da área potencialmente inundada pela cheia histórica de 1974 em Tubarão, SC. *1 Encontro Nacional de Desastres*, Porto Alegre.

SÉRIE ESTUDOS CINDÍNICOS

Títulos Publicados:

- 1 *Incêndios em Estruturas. Aprender com o Passado;*
- 2 *Educação para a Redução dos Riscos;*
- 3 *Metodologia de Análise de Riscos através de Estudos de Casos;*
- 4 *Riscos Hidrometeorológicos;*
- 5 *Pluralidade na Diversidade de Riscos;*
- 6 *Risco Sísmico - Aprender com o Passado;*
- 7 *Territórios em Risco;*
- 8 *Resiliência ao Risco;*
- 9 *Madeira Região Resiliente - Aprender com o Passado;*
- 10 *Risco de Cheias e Risco de Inundações Fluviais - Aprender com o Passado;*
- 11 *Análise e modelação de risco no ordenamento do território.*

Tomos em preparação:

- 12 *Perceção e planeamento na redução e gestão do risco de catástrofes;*
- 13 *As paisagens dos riscos sociais. Educar para diminuir a vulnerabilidade;*
- 14 *Risco de Movimentos em Vertentes - Aprender com o Passado;*
- 15 *Os Riscos e a Energia;*
- 16 *Efeitos dos Incêndios Florestais nos Solos de Portugal.*



Adélia Nunes é Professora Associada, com Agregação em Geografia, na Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, onde exerce funções de docência e investigação. Ingressou na carreira docente universitária em 1999. Em 2001 concluiu o Mestrado em Geografia Física e em 2007 o Doutoramento em Geografia.

É Diretora do Departamento de Geografia e Turismo, da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, membro integrado do Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território (CEGOT), da RISCOS (Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança) e do NICIF (Núcleo de Investigação Científica de Incêndios Florestais).

Dinâmica da paisagem, riscos naturais e mistos e gestão de recursos naturais são as principais áreas de investigação, tendo publicado várias dezenas de trabalhos, onde se incluem capítulos de livros e artigos em revistas de especialidade. Desde 2008 colabora no Mestrado em Ensino de Geografia e em 2017 assumiu a Coordenação do Mestrado em Geografia Física, Ambiente e Ordenamento do Território.

Foi editora convidada de um número especial no *Journal of Sustainability (Natural Risk Perception and Geography Education)* e no *Journal of Applied Sciences (Wildland-Urban Interface e Risk of Wildfires)*. Participou em projectos de investigação, nacionais e internacionais, dedicados à avaliação dos impactos das mudanças do uso do solo na resposta hidrogeomorfológica dos solos e análise do risco de incêndios florestal nas áreas de interface urbano-florestal.

Esteve envolvida na organização de inúmeras conferências nacionais e internacionais.



Luciano Lourenço é doutorado em Geografia Física, pela Universidade de Coimbra, onde se jubilou como Professor Catedrático.

É Diretor do NICIF - Núcleo de Investigação Científica de Incêndios Florestais, da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra.

Atualmente desempenha funções de Presidente da Mesa da Assembleia Geral em várias Associações, designadamente:

- RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança;
- COBALCO - Associação para Cooperação entre Baldios do Distrito de Coimbra;
- ADGou - Associação de Desenvolvimento do Goulinho;
- INSP - Irmandade de Nossa Senhora das Preces.

É, ainda, Presidente da Direção da:

- ASSOAÇOR - Associação dos Baldios da Serra do Açor;
- CLBGCC - Comunidade Local do Baldio do Goulinho e Casal Cimeiro.

Exerceu funções de Diretor-Geral da Agência para a Prevenção de Incêndios Florestais e de Presidente da Direção da Escola Nacional de Bombeiros.

Consultor científico de vários organismos e de diversas revistas científicas, nacionais e estrangeiras, publicou mais de uma centena de artigos em revistas especializadas. Possui mais de 80 capítulos de livros e mais de 50 livros publicados. Organizou mais de uma centena de eventos científico-pedagógicos e participou com apresentação de 350 comunicações. Orientou e coorientou várias teses de doutoramento e dissertações de mestrado.

Foi investigador responsável de mais de 40 projetos, nacionais e internacionais. Nas suas atividades profissionais interagiu com centenas de colaboradores, designadamente com cerca de 300 coautorias de trabalhos científicos.



RISCOS

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA
DE RISCOS, PREVENÇÃO
E SEGURANÇA

