

Mapeamento de Suscetibilidade à Inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Ponte Alta, Distrito Federal

Anna Clara Brandão Lima Nascimento

Mestranda em Geotecnia, Universidade de Brasília, Brasil, aclarabrandao@outlook.com

Newton Moreira de Souza

Professor Associado, Universidade de Brasília, Brasil, nmsouza@unb.br

Bruno Rodrigues de Oliveira

Professor Adjunto, Universidade Federal do Mato Grosso, Brasil, brunorodriguesoli@gmail.com

RESUMO: As inundações consistem no transbordamento das águas do canal principal do rio, submergindo a planície aluvial podendo alcançar os terrenos adjacentes mais elevados. Quando ocorrem em áreas urbanas acarretam prejuízos econômicos, ambientais e sociais. Nessa perspectiva, foi instituída a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, pela Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012, que define a obrigatoriedade do mapeamento de suscetibilidade à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos. A suscetibilidade refere-se à predisposição natural dos terrenos a ocorrência de determinado fenômeno. Neste sentido, este trabalho se propôs a avaliar a suscetibilidade à inundação na bacia hidrográfica do Rio Ponte Alta, afluente do rio Corumbá, localizada na região sudoeste do Distrito Federal, na escala 1:25.000. O procedimento metodológico seguiu a proposta elaborada pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM) juntamente com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), em 2014, para a elaboração de cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações. Como resultados foram delimitadas 33 sub-bacias de contribuição, cujos parâmetros morfométricos refletem a geomorfologia da área, um modelo HAND evidenciando áreas mais propensas à ocorrência de processos hidrológicos e o grau de suscetibilidade final à inundação das sub-bacias.

PALAVRAS-CHAVE: Processos hidrológicos, Defesa Civil, Inundação, Expansão urbana.

ABSTRACT: Floods consist of the overflow of water from the main channel of the river, submerging the alluvial plain and potentially reaching higher adjacent lands. When they occur in urban areas, they lead to economic, environmental, and social damages. In this perspective, the National Policy for Protection and Civil Defense was established by Law No. 12,608, dated April 10, 2012, which defines the mandatory mapping of susceptibility to the occurrence of high-impact landslides, sudden floods, or related geological or hydrological processes. Susceptibility refers to the natural predisposition of lands to the occurrence of a certain phenomenon. In this sense, this study aimed to assess the susceptibility to flooding in the Ponte Alta River watershed, a tributary of the Corumbá River, located in the southwest region of the Federal District, on a 1:25,000 scale. The methodological procedure followed the proposal developed by the Geological Survey of Brazil (SGB/CPRM) together with the São Paulo State Technological Research Institute (IPT) in 2014 for the preparation of susceptibility maps for gravitational mass movements and floods. As results, 33 contributing sub-basins were delineated, whose morphometric parameters reflect the geomorphology of the area, a HAND model highlighting areas more prone to hydrological processes, and the final degree of susceptibility to flooding of the sub-basins.

KEYWORDS: Hydrological processes, Civil Defense, Flood, Urban expansion.

1 INTRODUÇÃO

O termo inundação refere-se ao processo de transbordamento das águas dos rios para o leito maior e planícies de inundação, acima da cota habitual. Consiste em um processo natural decorrente do ciclo hidrológico, que ocorre geralmente entre 1,5 e 2 anos, mas que tem sua magnitude e frequência intensificados pela impermeabilização do solo decorrente da urbanização, que aumenta as vazões e acelera o escoamento.

Nas áreas urbanas as inundações causam perdas humanas e materiais, paralisação de atividades econômicas e o acometimento da população por doenças de veiculação hídrica (Tucci e Bertoni, 2003).

Em condições naturais, no contexto das bacias hidrográficas a dinâmica hidrológica e fluvial apresenta estreita correlação com as características físicas do terreno, como as condições topográficas, de declividade e solos (Tucci, 1993; IPT/CPRM, 2014). Assim, a avaliação morfométrica de bacias hidrográficas consiste em uma análise quantitativa da superfície e permite analisar sua predisposição à processos de inundação.

Dentro da cartografia geotécnica, estas condições naturais conduzem à definição de suscetibilidade, cujo termo denota a predisposição natural dos terrenos à ocorrência de determinados eventos danosos, excluindo-se qualquer análise acerca de perigo ou risco (IPT/CPRM, 2014). Os estudos de suscetibilidade possuem caráter orientativo e geralmente são realizados na escala 1:25.000 ou maior. Assim, as cartas de suscetibilidade são úteis para ações de planejamento e gestão territoriais e de bacias hidrográficas, bem como subsidiam a elaboração de planos diretores e cartas de maior escala, como as cartas de aptidão à urbanização (Sobreira e Souza, 2012).

O mapeamento de suscetibilidade à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos se inserem como instrumento para a redução de desastres no contexto da Lei nº12.608/2012, que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil e define a obrigatoriedade desse tipo de estudo. Dentre os objetivos elencados no Artigo 5º desta legislação destaca-se a identificação e avaliação das ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades a desastres, de modo a evitar ou reduzir sua ocorrência. A legislação foi elaborada após o desastre ocorrido na região serrana do Rio de Janeiro em 2011.

No Distrito Federal, em decorrência desta normativa, o Serviço Geológico do Brasil (SGB – CPRM) elaborou a carta de suscetibilidade à movimentos gravitacionais de massa e inundações na escala 1:50.000, a carta de aptidão à urbanização na escala 1:10.000 e a setorização de risco geológico na escala 1:2.000, identificando, nesta última, 22 áreas de risco alto e muito alto, ocupadas por mais de duas mil pessoas. No caso específico de enchente e inundação no Distrito Federal, tem-se o exemplo da Vila Cauhy, na região administrativa do Núcleo Bandeirante, que foi atingida pela elevação do nível d'água do córrego Riacho Fundo pela última vez em janeiro deste ano, a área foi classificada como de alto risco pelo SGB com uma estimativa de 176 pessoas afetadas.

Tendo em vista a importância dos estudos de suscetibilidade, sobretudo devido a intensa pressão exercida pela urbanização ao meio físico e pelos impactos sociais, econômicos e ambientais decorrentes dos processos de inundação, este trabalho se propôs a avaliar a suscetibilidade à inundação, na escala 1:25.000, no alto curso da bacia hidrográfica do Rio Ponte Alta, localizada na região sudoeste do Distrito Federal. Para isso, foi utilizada a base cartográfica disponível no GeoPortal (IDE/DF, 2024), na escala 1:10.000, para o DF. O procedimento metodológico seguiu a nota técnica elaborada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) juntamente com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), em 2014, para a elaboração de cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações (IPT/CPRM, 2014).

2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O alto curso da bacia hidrográfica do rio Ponte Alta está localizado no sudoeste do Distrito Federal, sua área completa abrange ainda parte do Estado de Goiás. O rio Ponte Alta integra a bacia do rio Corumbá, o qual desagua no rio Paraná, integrando assim, a bacia platina. A porção da bacia analisada é a área de contribuição limitada pela confluência do rio Ponte Alta com o córrego Ponte de Serra, com 155,21 km², enquadrada no polígono envolvente de coordenada sudoeste 48°10'08,88" O 16°00'55,22" S e nordeste 48°01'24,25" O 15°52'18'18" S, conforme se apresenta na figura 1.

O substrato geológico sobre o qual está inserida a área de estudo é composto pelos xistos verdes e micaxistos do Grupo Araxá, ao oeste, e pelas formações Córrego do Sansão (MNPPacs), Ribeirão Contagem (MNPParc) e Serra da Meia Noite (MNPPasmn) do Grupo Paranoá (Freitas Silva e Campos, 1998; Campos *et al.*, 2013). No contexto geomorfológico apresentam-se três unidades: Vale Dissecado, com relevo ondulado a forte ondulado; Plano Elevado, com relevo plano a suave ondulado e, separando estas tem-se a unidade Rampa Íngreme, com predominância de relevo forte ondulado a escarpado (Martins *et al.*, 2004). Quanto à pedologia, apresentam-se predominantemente as classes Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo, cobrindo as regiões de relevo mais aplainado e suave; seguida por Cambissolo, em áreas mais declivosas. As classes

Neossolo Quartzarênico, Gleissolo Háptico e Nitossolo Vermelho Amarelo também estão presentes (Reatto *et al.*, 2004).

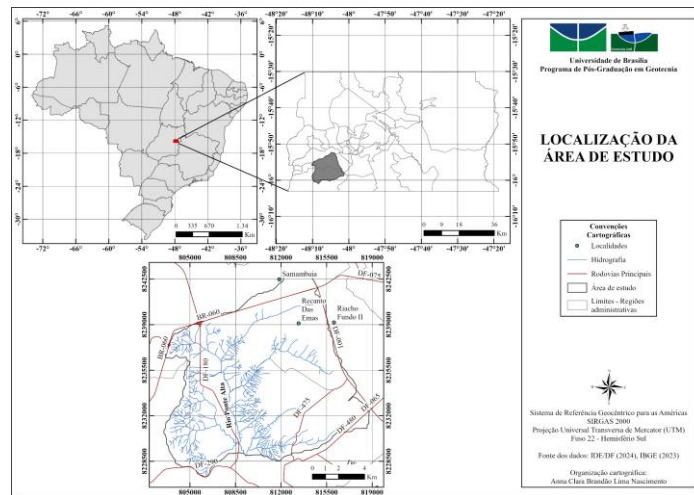


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A elaboração deste estudo contou com a utilização dos dados existentes na base cartográfica do Distrito Federal, disponível no GeoPortal (IDE/DF, 2024) em escala 1:10.000. Foram utilizadas as curvas de nível para a obtenção do Modelo Numérico de Terreno (MNT), rede de drenagem, limites das regiões administrativas e do Distrito Federal.

O procedimento metodológico foi composto pela preparação dos dados e, posteriormente, pela avaliação da suscetibilidade à inundação com as etapas de caracterização morfométrica das sub-bacias hidrográficas, elaboração do modelo *Height Above Nearest Drainage* (HAND) e integração dos resultados das etapas anteriores, conforme proposto por IPT/CPRM (2014).

A preparação dos dados envolveu a elaboração do Modelo Numérico de Terreno no *software* Spring, versão 5.5.6. Para isso, as curvas de nível da base cartográfica do Distrito Federal, espaçadas de 5 em 5 metros, foram interpoladas utilizando a triangulação de Delaunay, sem linhas de quebra, a *Triangulated Irregular Network* (TIN) resultante foi utilizada para gerar a grade retangular, que foi suavizada com 3 iterações do filtro passa baixa, com matriz de 5x5, a fim de remover as angulosidades provenientes da triangulação. Com o procedimento de elaboração do MNT supracitado, foi elaborado um Modelo Numérico de Terreno Hidrologicamente Consistente (MNTHC), utilizando a rede de drenagem disponível na base cartográfica como linhas de quebra. Neste modelo foi feito o preenchimento de depressões e posteriormente foi utilizado para a confecção do modelo HAND. O MNT e o MNTHC gerados possuem resolução espacial de 5 metros e resolução altimétrica de 2,5 metros.

A partir do MNT procedeu-se com a avaliação da suscetibilidade à inundação, que foi dividida em três etapas:

(1) Extração da rede de drenagem, delimitação das sub-bacias de contribuição e cálculo dos parâmetros morfométricos. A partir do MNT, importado para o programa ArcGIS Pro, versão 3.2.2, foi feita a extração da rede de drenagem conforme o proposto por O'Callaghan e Mark (1984). O processo compreende o preenchimento de depressões no MNT, seguido da geração da grade de direção de fluxo utilizando o algoritmo D8 e do fluxo acumulado, e a extração da drenagem utilizando uma ferramenta condicional, com a imposição de um limiar de fluxo acumulado. A drenagem extraída foi segmentada e utilizada para a criação das sub-bacias hidrográficas, das quais se extraíram os parâmetros necessários para a caracterização morfométrica conforme proposto por IPT/CPRM (2014), apresentados na figura 2.

Devido às diferentes características geológicas e geomorfológicas da área analisada, que refletem em diferentes densidades de drenagem, a definição de um único limiar de fluxo acumulado adequado e representativo para toda a área é impraticável. Assim, definiu-se um limiar por tentativa e erro, de maneira que a rede de drenagem extraída fosse representativa das áreas de maior densidade de drenagem, e sucedeu-se com

o refinamento e ajuste manual da hidrografia, concordante com a escala 1:25.000, com a utilização das imagens disponíveis no *Google Earth Pro* e da ortofoto de alta resolução do ano de 2015, disponível no GeoPortal (IDE/DF, 2024).

A definição das sub-bacias foi feita com base na ordem dos cursos d'água, como sugerido em IPT/CPRM (2014). Após o refinamento da hidrografia, definiu-se a ordem do curso principal pela definição de Strahler (1957) e, delimitou-se as sub-bacias para a ordem n-3, sendo n a ordem do canal principal.

Parâmetro / Índice	Cálculo	Influência
Área de Contribuição (Ac)	Extração automática em SIG.	Associa-se ao volume de água que atinge o rio principal. Quanto maior a Ac, maior tende a ser a suscetibilidade.
Relação de Relevo (Rr) (SCHUMM, 1956)	Relação entre a amplitude (Δa) e comprimento do rio principal da sub-bacia (L).	Indica a velocidade de escoamento. Quanto maior a Rr, mais rápido tende a ser o fluxo, reduzindo o acúmulo de água na sub-bacia.
Densidade de drenagem (Dd) HORTON (1945)	Relação entre o comprimento da drenagem (C) com a área da sub-bacia (A).	Quanto maior a Dd, menor é a infiltração de água no solo e maior tende a ser a velocidade com que a água atinge o rio.
Índice de Circularidade (Ic) (MÜLLER, 1953)	Relação entre a área da sub-bacia (A) e a de um círculo de mesmo perímetro (Ac).	Quanto maior é o Ic, maior tende a ser a retenção de água na sub-bacia, reduzindo a velocidade de chegada da água no rio.
Índice de Sinuosidade (Is) (SCHUMM, 1963)	Relação entre o comprimento do canal principal (L) com a distância vetorial entre os extremos do canal (dv).	Quanto maior o Is, menor tende a ser a velocidade de escoamento e chegada da água no rio.

Figura 2. Parâmetros morfométricos avaliados nas sub-bacias.

Fonte: IPT/CPRM (2014)

Após o cálculo dos índices supracitados, aplica-se a equação 1 para a ponderação dos índices que possuem relação direta com o processo de inundação (Ac, Dd, Ic e Is). Para o parâmetro Rr, que possui relação indiretamente proporcional, aplica-se a equação 2. Em ambas, GS é o grau de suscetibilidade, X é o valor do parâmetro/índice morfométrico a ser avaliado para cada bacia, X_{mín} e X_{máx} são os valores mínimos e máximo dos parâmetros/índices morfométricos de todas as sub-bacias, respectivamente.

$$GS = \frac{4(X - X_{mín})}{(X_{máx} - X_{mín})} + 1 \quad (1)$$

$$GS = \frac{4(X - X_{máx})}{(X_{mín} - X_{máx})} + 1 \quad (2)$$

Com os índices padronizados, realiza-se a soma dos valores para cada sub-bacia e aplica-se a equação 3, que fornece o grau de suscetibilidade final (GS_f) de cada sub-bacia relativo à análise morfométrica. O GS_f varia de 1 a 3, sendo 1 = baixa suscetibilidade, 2 = média suscetibilidade e 3 = alta suscetibilidade. Na equação, Y é o valor do parâmetro/índice em cada sub-bacia, Y_{mín} e Y_{máx} são os valores mínimos e máximo dos parâmetros/índices das sub-bacias, respectivamente.

$$GS_f = \frac{2(Y - Y_{mín})}{(Y_{máx} - Y_{mín})} + 1 \quad (3)$$

Como se trata de um valor relativo entre as sub-bacias, o cálculo do grau de suscetibilidade foi realizado considerando as áreas de contribuição dos cursos d'água de mesma ordem.

(2) Elaboração do modelo *Height Above Nearest Drainage* (HAND) ou altura da drenagem mais próxima. O modelo HAND foi idealizado por Nobre *et al.* (2011) e consiste em uma versão do MNT normalizada pela rede de drenagem, possibilitando inferências sobre processos de fluxo e acumulação de água

no solo. O HAND foi gerado na extensão de modelagem hidrológica TerraViewHidro, versão 0.4.4, com base nos procedimentos descritos por Nobre *et al.* (2011) e utilizando o MNTHC. Depois de gerado, o modelo HAND foi reclassificado para três classes de suscetibilidade. Para o intervalo de 0 a 2 metros de altura vertical foi atribuída a classe alta suscetibilidade; de 2 a 5 metros foi atribuída a classe média suscetibilidade, e de 5 a 10 metros, baixa suscetibilidade. Acima de 10 metros de altura vertical foi considerado que a suscetibilidade à ocorrência de inundações é nula. Estes intervalos foram definidos com base no estudo de suscetibilidade já realizado pelo SGB, em escala 1:50.000, seguido da verificação do perfil de elevação em algumas seções do rio Ponte Alta no *Google Earth Pro*.

A geração do modelo HAND também implica na definição de um limiar para a extração da rede de drenagem e, assim como na etapa anterior, não foi possível definir um único limiar representativo. Como a geração do modelo acontece de forma automatizada com base na direção do fluxo e da rede de drenagem extraída pelo programa, diferentemente da solução adotada na etapa anterior, optou-se por definir um valor de fluxo acumulado adequado para as áreas de menor densidade de drenagem, uma vez que a adoção de um valor representativo das áreas de maior densidade de drenagem acarreta a geração de canais de drenagem inexistentes nas áreas de relevo plano, conduzindo a uma análise equivocada.

(3) Integração do grau de suscetibilidade morfométrico e do grau de suscetibilidade resultante do modelo HAND, com operação de lógica booleana, conforme se apresenta na figura 3.

Modelo HAND \ Índices Morfométricos	Alta	Média	Baixa
Alta	Alta	Alta	Média
Média	Alta	Média	Baixa
Baixa	Média	Baixa	Baixa

Figura 3. Matriz de correlação entre as classes de suscetibilidade morfométrica e do modelo HAND.

Fonte: IPT/CPRM (2014)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira etapa, referente à extração da rede de drenagem, delimitação e caracterização das sub-bacias resultou em 33 sub-bacias de contribuição dentro da bacia principal. Conforme descrito na seção 3, a delimitação foi feita com base no ordenamento dos cursos d'água pelo método de Strahler (1957), resultando em 24 sub-bacias referentes aos cursos d'água de terceira ordem, seis sub-bacias referentes aos cursos d'água de quarta ordem, três sub-bacias englobando os cursos d'água de quinta ordem e, finalmente, a bacia de drenagem principal, com o rio Ponte Alta classificado como de ordem 6. Seguindo o ordenamento, tem-se que as sub-bacias dos cursos d'água de ordem inferior são englobadas pelas sub-bacias dos cursos d'água de ordem superior. Como a maioria dos cursos d'água não possuem nome, optou-se por enumerar as sub-bacia para fins de identificação.

A aplicação da metodologia na etapa de caracterização morfométrica resulta em um grau de suscetibilidade relativo, de modo que os parâmetros calculados para cada sub-bacia, sendo área de contribuição, relação de relevo, densidade de drenagem, índice de circularidade e índice de sinuosidade, são ponderados pelos valores máximo e mínimo de cada parâmetro dentre as sub-bacias analisadas. O grau de suscetibilidade varia de 1 a 3, sendo 1, suscetibilidade baixa, 2, suscetibilidade média e, 3, suscetibilidade alta.

Para os cursos d'água de terceira ordem, tem-se como resultado sete sub-bacias de alta suscetibilidade, 15 de média suscetibilidade e duas de baixa suscetibilidade. Em relação aos cursos d'água de quarta ordem, tem-se uma sub-bacia classificada como de alta suscetibilidade, três de média suscetibilidade e duas de baixa suscetibilidade. Com o aumento da ordem dos cursos d'água para a ordem 5, tem-se três bacias, cada uma em uma classe de suscetibilidade. Os resultados estão apresentados no mapa da figura 4. Para melhor representar a variabilidade dos resultados, optou-se por utilizar a simbologia referente a cartas de risco, com quatro classes, proposto por CPRM/SGB (2018). Neste caso, as sub-bacias de média suscetibilidade estão representadas nas cores amarelo e laranja.

É possível estabelecer uma correlação com a variação das formas de relevo apresentadas em cada unidade geomorfológica e os parâmetros morfométricos das sub-bacias. A região leste da bacia, onde apresenta-se a unidade plano elevado, possui baixos valores de declividade, que conduz a baixas densidades

de drenagem e, portanto, bacias de contribuição maiores e com formato alongado, refletido nos baixos valores de índice de circularidade. Nesta área, os cursos d'água apresentam padrão mais retilíneo, revelando a existência de feições lineares no substrato geológico.

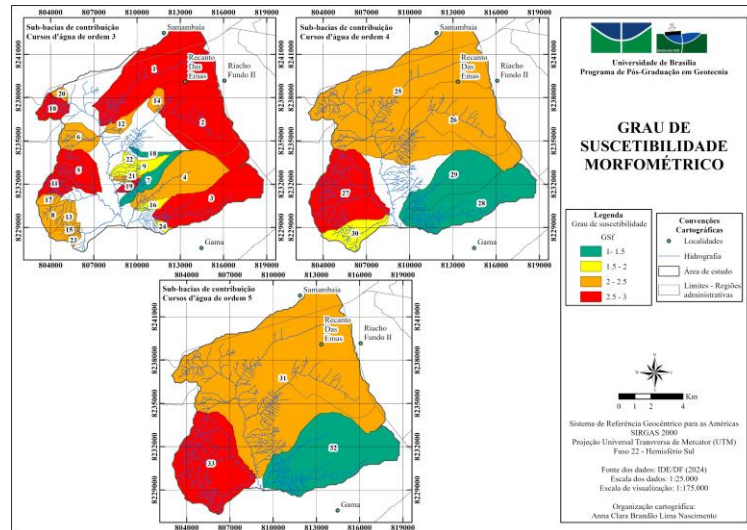


Figura 4. Grau de suscetibilidade morfométrico das sub-bacias de contribuição.

Na região central apresenta-se a unidade rampa íngreme, com orientação noroeste-sudeste, caracterizada por uma alta densidade de drenagem e por bacias de contribuição dos cursos d'água de terceira ordem apresentando pequenas áreas e formato alongado. Devido à diferença altimétrica, estas sub-bacias apresentam valores elevados de relação de relevo, como observa-se nas sub-bacias 18, 24 e 22. Na parte oeste apresenta-se a unidade vale dissecado, com relevo variando de ondulado a forte ondulado.

O aumento da ordem dos cursos d'água de terceira para quarta ordem é acompanhado de uma redução do grau de suscetibilidade das sub-bacias, com exceção da sub-bacia 27, que engloba as sub-bacias 5, 8, 11, 13 e 17. Neste mesmo raciocínio, o grau de suscetibilidade se mantém praticamente constante ao se comparar as bacias dos cursos d'água de ordem 4 e de ordem 5, com exceção da sub-bacia 30 que, ao ser envolvida pela sub-bacia 33, tem sua área classificada como de alta suscetibilidade.

A segunda etapa, na qual se elaborou a carta de altura vertical da drenagem mais próxima (HAND) para a área de estudo, possibilita observar áreas naturalmente propensas aos processos de inundação e de acúmulo de água, bem como inferir sobre a altura do nível freático, tendo em vista que o modelo fornece uma medida da energia potencial da água no solo. A maior altura vertical observada na bacia do rio Ponte Alta é de 276 metros. A carta está apresentada na figura 5.

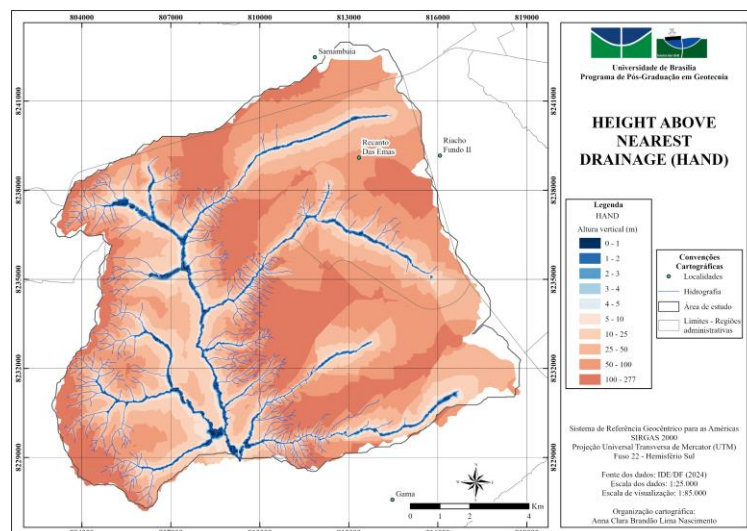


Figura 5. Modelo HAND da bacia hidrográfica do rio Ponte Alta.

A terceira etapa de avaliação da suscetibilidade à inundação consiste no cruzamento das suscetibilidades obtidas nas etapas anteriores. O cruzamento considerou os graus de suscetibilidade das sub-bacias dos cursos d'água de ordem 4 e 5, uma vez que o limiar de extração de drenagem utilizado na elaboração do modelo HAND gerou apenas os cursos d'água principais. O processo foi realizado conforme a matriz de correlação da figura 3 e está apresentado na figura 6.

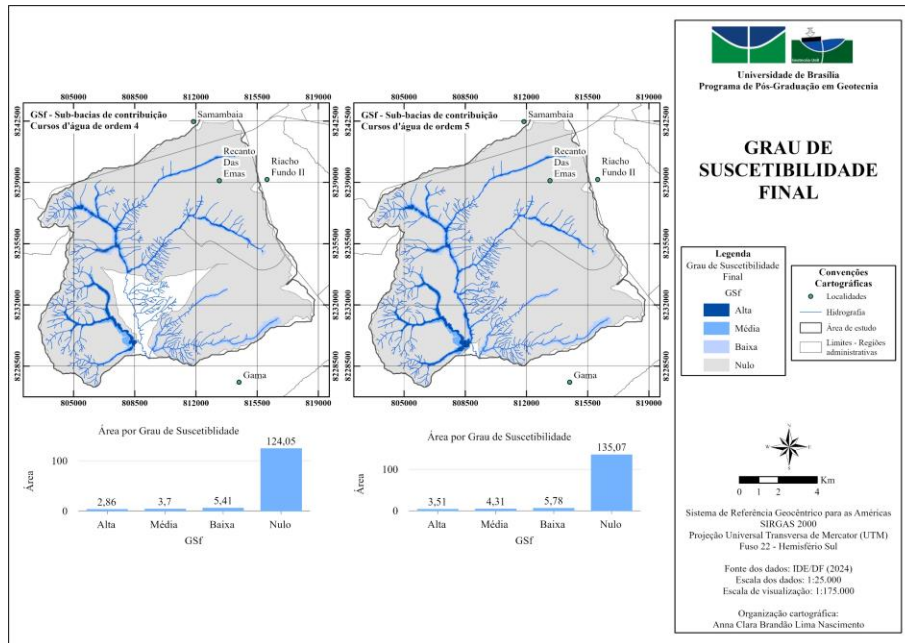


Figura 6. Grau de suscetibilidade final das sub-bacias de contribuição

O cálculo do grau de suscetibilidade final para as sub-bacias dos cursos d'água de ordem 4 resultou em uma área de 2,86 km² classificada como de alta suscetibilidade, 3,7 km² de média suscetibilidade, 5,41 km² de baixa suscetibilidade e 124,05 km² de áreas de suscetibilidade nula, que corresponde à classe de altura vertical superior a 10 metros. Para os cursos d'água de quinta ordem, tem-se 3,51 km² de alta suscetibilidade, 4,31 km² de média suscetibilidade, 5,78 km² de baixa suscetibilidade e 135,07 km² de suscetibilidade nula.

Como o grau de suscetibilidade morfométrico se manteve praticamente constante nas bacias dos cursos d'água de ordem 4 e de ordem 5, após o cruzamento dos dados houve alteração do grau de suscetibilidade final apenas no curso d'água contido na sub-bacia 30, nas demais áreas o GSF se mantém. Nas sub-bacias hidrográficas de baixa suscetibilidade, o cruzamento dos dados resultou em áreas de média e baixa suscetibilidade, em contrapartida, nas sub-bacias de alta suscetibilidade não há áreas de suscetibilidade baixa.

5 CONCLUSÃO

O estudo atingiu de maneira satisfatória o objetivo proposto ao avaliar a suscetibilidade à inundação da bacia hidrográfica do rio Ponte Alta, utilizando o cruzamento da suscetibilidade referente à morfometria das sub-bacias hidrográficas e do modelo HAND. Foi verificado que 0,25 km² da área classificada como de alta suscetibilidade está ocupada e que novos parcelamentos do solo em fase de conclusão ou de progresso abrangem áreas altamente suscetíveis a processos de inundação.

A qualidade dos produtos elaborados em todas as etapas descritas é dependente da resolução do Modelo Numérico de Terreno utilizado, uma vez que dele derivam todos os resultados apresentados. Além disso, evidencia-se que o conhecimento das especificidades da área estudada, por meio da avaliação de ortofotos disponíveis, foi fundamental para o desenvolvimento de uma análise adequada, conduzindo a definição de limiares de extração de drenagem condizentes com a elaboração de cada subproduto.

A avaliação dos parâmetros morfométricos das sub-bacias refletem de maneira direta as características geomorfológicas, possibilitando o conhecimento da dinâmica hidrográfica, sobretudo em sub-bacias urbanizadas e em processo de urbanização. Por sua vez, o modelo HAND mostrou-se como uma ferramenta promissora na inferência de processos hidrológicos.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília - UnB, e à Universidade Federal do Mato Grosso – UFMT.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brasil (2012). Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. *Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nos 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências.* Diário Oficial da União, Brasília, 11 abr. 2012. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2011-2014/2012/lei/112608.htm>. Acesso em: 05 jul. 2024.
- Campos, J. E. G.; Dardenne, M. A.; Freitas Silva, F. H.; Martins Ferreira, M. A. C. (2013) Geologia do Grupo Paranoá na porção externa da Faixa Brasília. *Brazilian Journal of Geology*, v. 43, n. 3, p. 461-476.
- CPRM/SGB (2018) *Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa – Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Desastres Naturais – Projeto GIDES.* Rio de Janeiro.
- Freitas Silva, F. H.; Campos, J. E. G. (1998) Geologia do Distrito Federal. *Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal.* Brasília, DF: IEMA/SEMATEC/UnB, v. 1.
- Infraestrutura de Dados Espaciais do Distrito Federal- IDE/DF (2024). *Geoportal/DF.* Disponível em: <https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/geoportal/>. Acesso em: 10/04/2024.
- IPT/CPRM (2014). *Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações-1: 25.000: nota técnica explicativa.* IPT, São Paulo; CPRM, Brasília.
- Martins, É. de S.; Carvalho Júnior., O. A.; Guimarães, R. F. (2004). *Evolução geomorfológica do Distrito Federal.* Planaltina: Embrapa Cerrados.
- O’Callaghan, J. F., Mark, D.M. (1984). The Extraction of Drainage Networks from Digital Elevation Data. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 28: 323-344.
- Reatto, A.; Martins, E. de S.; Farias, M. F. R.; Silva, A. V. da; Carvalho Júnior, O. A. (2004). *Mapa pedológico digital-SIG atualizado do Distrito Federal escala 1: 100.000 e uma síntese do texto explicativo.* Planaltina: Embrapa Cerrados.
- Sobreira, F. G., & Souza, L. D. (2012). Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*, 2(1), 79-97.
- Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *American Geophysics Union Transactions*, v. 38, p. 913-920.
- Tucci, C. E., & Bertoni, J. C. (2003). *Inundações urbanas na América do Sul*, Vol. 1. Ed. dos Autores.
- Tucci, C. E. (1993). *Hidrologia: ciência e aplicação.* Editora UFGRS, Porto Alegre.