

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA**

MONARA NOGUEIRA SILVA

**ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO NA ÁREA URBANA DE PATOS
DE MINAS - MG**

MONTE CARMELO

2023

MONARA NOGUEIRA SILVA

**ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO NA ÁREA URBANA DE PATOS
DE MINAS - MG**

Trabalho apresentado como requisito para obtenção de aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da Universidade Federal de Uberlândia.

Orientador: Prof.^a Dra. Mirna Karla Amorim da Silva

Coorientadora: Prof.^a Dra. Luziane Ribeiro Indjai

MONTE CARMELO

2023

MONARA NOGUEIRA SILVA

**ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO NA ÁREA URBANA DE PATOS
DE MINAS - MG**

Trabalho apresentado como requisito para obtenção de aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da Universidade Federal de Uberlândia.

Orientador: Prof.^a Dra. Mirna Karla Amorim da Silva

Coorientadora: Prof.^a Dra. Luziane Ribeiro Indjai

Aprovado em: ___/___/_____

Banca Examinadora:

Prof.^a Dra. Mirna Karla Amorim da Silva (Orientadora)

Universidade Federal de Uberlândia

Prof.^a Dra. Luziane Ribeiro Indjai (Coorientadora)

Universidade Federal de Uberlândia

Me. Samuel Lacerda de Andrade

Universidade Federal de Uberlândia

MONTE CARMELO

2023

RESUMO

As inundações são eventos que ocorrem principalmente na presença de chuvas intensas sobre uma bacia hidrográfica. Com a urbanização e o crescimento desordenado das cidades em regiões próximas aos leitos dos rios, se faz presente a impermeabilização do solo e, conseqüentemente, o aumento de escoamento superficial para os canais de drenagem em períodos chuvosos. As áreas atingidas por esses desastres afetam não só a população que se faz presente nessas regiões, mas a sociedade como um todo, a economia e o meio ambiente. Para minimizar esse tipo de evento e prever sua ocorrência, faz-se necessário o estudo e mapeamento das áreas suscetíveis. Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo mapear a suscetibilidade a inundações na área urbana de Patos de Minas, como também, realizar o estudo morfométrico das sub-bacias do Córrego Limoeiro, Córrego Água Limpa e do Ribeirão da Fábrica. A utilização do sensoriamento remoto, de dados geográficos e meteorológicos, contribuiu para a elaboração dos mapas temáticos de hipsometria, pedologia, precipitação, declividade e uso e ocupação da terra, que são fatores importantes para o mapeamento de inundações. Os mesmos foram manipulados pelas ferramentas do Sistema de Informações Geográficas e hierarquizados através do método de *Analytic Hierarchy Process* – AHP proposto por Tomas L. Saaty, que consiste em comparar os fatores entre si ao atribuí-los em uma escala de importância para determinação de pesos. Desta forma o mapa final de suscetibilidade foi gerado a partir do cruzamento dos fatores. Os resultados se mostraram condizentes com o histórico de inundações da região de Patos de Minas. Uma área considerável do perímetro urbanizado apresentou alta suscetibilidade (39,27%) com ocupação de 33,03 km² da área total. O método AHP mostrou ser eficaz para o mapeamento de áreas com diferentes níveis de suscetibilidade a inundações. O mapa indica áreas que devem ser consideradas prioritárias nos programas de desenvolvimento e gestão hídrica do município.

Palavras-chaves: mapeamento; inundações; bacia hidrográfica; área urbana.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Coeficiente de compacidade	12
Equação 2 – Fator de forma.....	13
Equação 3 – Índice de circularidade.....	13
Equação 4 – Densidade de drenagem.....	15
Equação 5 – Autovetor	333
Equação 6 – Índice de consistência	344
Equação 7 – Razão de consistência	344
Equação 8 – Suscetibilidade a inundaçã.....	344

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Principais elementos de uma bacia hidrográfica.....	10
Figura 2 - Influência da forma das bacias hidrográficas na formação do hidrograma, considerando desprezível a influência de outras variáveis (geologia, declividade, tipos de solos e vegetação).....	12
Figura 3 - Hierarquia de canais por Strahler.....	14
Figura 4 - Elevação do nível de um rio provocada pelas chuvas, do nível normal até a ocorrência de uma inundação	17
Figura 5 - Diferença entre inundação gradual e brusca	18
Figura 6 - Córrego do Monjolo - Patos de Minas.....	19
Figura 7 - Inundação Córrego do Monjolo – 2018.....	19
Figura 8 - Mapa de localização da Área Urbana de Patos de Minas	22
Figura 9 - Fluxograma abordando as etapas do trabalho.....	23
Figura 10 - Bacias Hidrográficas de interesse para o estudo.....	24
Figura 11 - Curvas de nível (5m).....	25
Figura 12 - MDE após interpolação.....	25
Figura 13 - Estações Pluviométricas da ANA	27
Figura 14 - Imagem Planet	28
Figura 15 - Mapa hipsométrico (a) e Mapa intermediário (b).....	37
Figura 16 - Mapa de declividade (a) e Mapa intermediário (b).....	39
Figura 17 - Mapa de precipitação (a) e Mapa intermediário (b)	40
Figura 18 - Mapa pedológico (a) e Mapa intermediário (b)	41
Figura 19 - Mapa de uso e ocupação da terra (a) e Mapa intermediário (b)	43
Figura 20 - Mapa de suscetibilidade à inundação na área urbana de Patos de Minas	44
Figura 21 - Bairros que sofreram inundações em 2022.....	45
Figura 22 - Córrego do Monjolo – 2019.....	46
Figura 23 - Córrego do Monjolo - 2022.....	46
Figura 24 - Região onde se encontrava a antiga Lagoa dos Patos.....	47
Figura 25 - Área alagada na antiga Lagoa dos Patos, ao lado esquerdo se encontra hoje o shopping da cidade	47

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 - Interpretação dos valores.....	14
Tabela 2 - Classes de declividade.....	26
Tabela 3 - Estações ANA	27
Tabela 4 - Classes de uso e ocupação da terra.....	29
Tabela 5 - Nível de suscetibilidade à inundação	29
Tabela 6 - Notas para hipsometria.....	30
Tabela 7 - Notas para declividade	30
Tabela 8 - Notas para precipitação	30
Tabela 9 - Notas para pedologia.....	31
Tabela 10 - Notas para uso e ocupação da terra	31
Tabela 11 - Matriz de comparação dos fatores.....	32
Tabela 12 - Soma de cada coluna	33
Tabela 13 - Determinação dos pesos estatísticos de cada variável.....	33
Tabela 14 - Resultados morfométricos.....	35
Tabela 15 - Classes do mapa hipsométrico	37
Tabela 16 - Classes do mapa de declividade	38
Tabela 17 - Classes do mapa precipitação.....	39
Tabela 18 - Classes do mapa pedológico.....	41
Tabela 19 - Classes do mapa de uso e ocupação da terra	42
Tabela 20 - Classes do mapa de suscetibilidade à inundação.....	45
Quadro 1 - Escala de comparadores com os respectivos pesos de importância	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	OBJETIVOS	9
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
3.1	Bacias Hidrográficas	9
3.1.1	Análises morfométricas	11
3.1.2	Características Geométricas	11
3.1.3	Características da rede de drenagem	14
3.2	Desastres Naturais	15
3.3	Inundações	16
3.4	Inundações na área urbana de Patos de Minas	18
3.5	Informações Geoespaciais	19
4	METODOLOGIA	21
4.1	Área de Estudo	21
4.2	Material	22
4.3	Métodos	23
4.3.1	Delimitações de bacias hidrográficas e extração de dados morfométricos	23
4.3.2	Elaboração de mapas temáticos dos fatores a serem analisados	25
4.3.3	Mapeamento da suscetibilidade à inundação.....	29
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1	Análise morfométrica	35
5.2	Mapas dos fatores analisados	36
5.3	Mapa de suscetibilidade à inundação na área urbana de Patos de Minas	43
6	CONCLUSÃO	47
	REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

A ocorrência de inundação é um fenômeno bem antigo e vem fazendo parte da história da humanidade (TUCCI, 2005). Nos últimos anos esse evento tem se tornado um dos desastres naturais que mais afeta o país. Tal fato pode ser atribuído as constantes alterações antrópicas sobre o meio ambiente, que influenciam na dinâmica natural das bacias hidrográficas e no aumento das frequências e intensidades de inundações.

A falta de planejamento urbano e ambiental, bem como as ações não sustentáveis agravam ainda mais a situação perante as inundações, como por exemplo o crescimento desordenado das cidades em regiões de risco e o assoreamento dos rios. Pode-se ressaltar as mudanças nos tipos de uso e ocupação da terra, os desmatamentos de áreas nativas e a urbanização, que por consequência, encadeiam no aumento de superfícies impermeáveis e no aumento de escoamento superficial na bacia hidrográfica.

Segundo o Banco de Dados Internacional de Desastres (EM-DAT, 2015 apud GOERL et al., 2017) entre 1900 e 2015, as inundações atingiram cerca de 3,6 bilhões de pessoas e foram responsáveis pela morte de quase sete milhões. Além disso, podem acarretar em perdas econômicas, sociais e ambientais; danos na infraestrutura e agricultura; interrupção da atividade econômica nas áreas que foram afetadas; contaminação da água pela inundação e contaminação de pessoas por doenças de veiculação hídrica (TUCCI, 2005).

Esta realidade se faz presente em muitas regiões brasileiras, e uma delas é a área urbana de Patos de Minas que, historicamente, possui registros de ocorrências de inundações. Como exemplo, pode ser citado a bacia do Ribeirão da Fábrica que abrange parte da área urbana e é frequentemente alvo de notícias relacionadas a enchentes e inundações.

Nesse contexto, evitar que as inundações aconteçam é uma tarefa difícil. Porém, uma forma de minimizar e prevenir seus incidentes se dá por meio de medidas estruturais (obras) e não estruturais (mapeamento, sistema de alerta e educação ambiental) (KOBİYAMA et al., 2006). Neste trabalho foi abordado a medida não estrutural de mapeamento por ser uma das ferramentas mais viáveis e de custo menor.

Com o estudo das características do meio físico e antrópico das bacias hidrográficas auxiliado pelas técnicas de geoprocessamento apropriadas é possível mapear e identificar áreas de risco a inundação? Para Villela e Mattos (1975) as características físicas são elementos de grande importância na avaliação do comportamento hidrológico da bacia. Já as técnicas de geoprocessamento permitem mais rapidez e eficiência no mapeamento e análises espaciais. A utilização de tecnologias como Sensoriamento Remoto e o Sistema de Informações Geográficas

– SIG são fundamentais na coleta e tratamento de dados e fazem parte desse conjunto de técnicas.

2 OBJETIVOS

Esta pesquisa teve como objetivo geral mapear as áreas de suscetibilidade à inundação na área urbana de Patos de Minas.

Objetivos específicos:

- Estudar as características morfométricas das sub-bacias do Córrego do Limoeiro, Córrego Água Limpa e Ribeirão da Fábrica;
- Elaborar mapas temáticos de: hipsometria, declividade, precipitação, pedologia, uso e ocupação da terra;
- Mapear e identificar áreas suscetíveis à inundação.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para melhor compreensão sobre o tema abordado na pesquisa, é fundamental o conhecimento do conteúdo teórico básico necessário para o desenvolvimento da pesquisa, de acordo com a literatura existente. Desta forma, alguns conceitos relevantes são indicados e apresentados, a seguir.

3.1 Bacias Hidrográficas

O termo bacia hidrográfica é usado para definir uma região de captação natural de água composta por um conjunto de vertentes e suas redes de drenagem, onde a água precipitada sobre a área se afluí através dos cursos d'água para um único ponto de saída, denominado exutório (SILVEIRA, 1993).

A bacia hidrográfica também é composta por outros elementos, como as nascentes; os cursos d'água principais; afluentes e subafluentes; e os divisores de água Figura 1 (GUERRA, 1993). Esse último, divisores de água, representa o contorno da bacia hidrográfica, ou seja, uma linha de separação que divide as precipitações que caem na bacia com as que caem nas bacias vizinhas (VILLELA; MATTOS, 1975).

Figura 1- Principais elementos de uma bacia hidrográfica



Fonte: Torres e Machado (2013).

Segundo Silveira (1993) a bacia de drenagem pode ser considerada um sistema físico, cuja entrada consiste no volume precipitado e a saída, através do exutório, o volume escoado. No entanto, sem dispensar as perdas intermediárias de volumes que ocorrem, como evaporação, infiltração, transpiração.

Os processos hidrológicos atuantes na bacia hidrográfica possuem duas direções predominantes de fluxo: vertical e longitudinal. O primeiro é representado pelos processos de precipitação e evapotranspiração e o segundo pelo escoamento na direção dos gradientes da superfície (escoamento superficial e rios) e do subsolo (escoamento subterrâneo) (TUCCI; CLARKE, 1997).

A precipitação quando cai sobre a área da bacia, se dispersa de várias formas. Uma parte retorna a atmosfera através da evaporação e transpiração das plantas, outra parte fica retida na vegetação, se infiltra no solo, escorre superficialmente para os rios e pode penetrar as camadas mais fundas nutrindo os canais subterrâneos (VILLELA; MATTOS, 1975).

Quando o escoamento superficial surge, há a saturação da superfície do solo sob uma precipitação persistente. Esse escoamento, que é gerado nas vertentes, pode ser considerado uma produção de escoamento rápido e juntamente com os sedimentos advindos do fenômeno de erosão são transportados para as redes de drenagem. Sendo assim, o curso d'água quando apresenta nível baixo, seu leito maior (zona de inundação) funciona como produção de

escoamento, já quando os rios estão em cheia, a zona de inundação é usada para transporte (SILVEIRA, 1993).

A cobertura vegetal tem a função de interceptar parte da chuva por meio do armazenamento de água na cobertura arbustiva (GUERRA; CUNHA, 1994). Quanto maior a superfície composta por vegetação, maior a área de retenção de água, o que reduz o escoamento superficial. Caso contrário para solos desprotegidos e compactados a capacidade de infiltração pode diminuir e resultar em maior escoamento superficial (TUCCI; CLARKE, 1997).

Tucci (2005) destaca que a alteração da superfície, ou a perda da cobertura para o uso agrícola tem aumentado a frequência de inundações devido ao assoreamento dos rios e a falta de interceptação da precipitação. O Atlas Brasileiro de Desastres (2013), reforça que as modificações na dinâmica fluvial dos rios têm graves consequências, representadas pelas inundações. O que acarreta o aumento de riscos de desastres próximas a áreas fluviais.

3.1.1 Análises morfométricas

As bacias hidrográficas podem ser analisadas em diferentes abordagens, a exemplo das análises morfométricas, que são representadas pelas características geométricas, da rede de drenagem e relevo. No estudo analítico dessas características são abordados outros índices a serem descritos, a seguir. Esses parâmetros também são propostos por autores como Christofolletti (1980), Collischonn e Dornelles (2015), Silveira (1993), Villela e Mattos (1975).

3.1.2 Características Geométricas

- Perímetro e área total da bacia

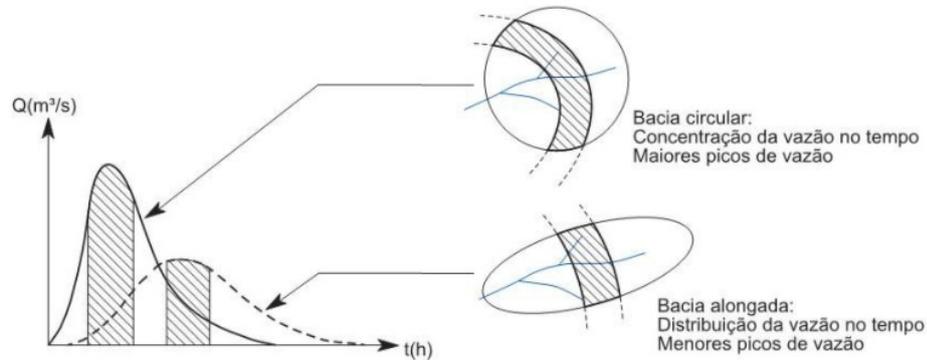
O perímetro é o comprimento da linha de contorno que limita a bacia. Já a área da bacia, projetada em plano horizontal, é toda área presente entre seus divisores topográficos. É considerada o elemento básico para o cálculo dos outros índices (GUIMARÃES, 2012).

- Forma da bacia

De acordo com Collischonn e Dornelles (2015) a análise da forma da bacia visa diferenciar bacias de formato mais circular, das bacias de formato mais alongado.

A forma mais circular de uma bacia, apresenta uma concentração temporal do escoamento superficial, pois um grande número de afluentes chega ao mesmo tempo no exutório. Enquanto que as bacias mais alongadas, predomina o escoamento lento ao longo de um curso d'água principal que é mais alongado que os demais afluentes (Figura 2).

Figura 2 - Influência da forma das bacias hidrográficas na formação do hidrograma, considerando desprezível a influência de outras variáveis (geologia, declividade, tipos de solos e vegetação)



Fonte: Collischonn e Dornelles (2015).

- Coeficiente de compacidade (K_c)

O coeficiente de compacidade representa a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo com mesma área da bacia, conforme a Equação (1). Esse coeficiente tem valor adimensional que varia com a forma da bacia, independentemente de seu tamanho. Quanto mais irregular a bacia, maior será K_c e se, por outro lado, esse coeficiente tomar valor mínimo igual a unidade, corresponderá a uma bacia circular. Portanto, a bacia tem maior tendência de enchentes quando o coeficiente for mais próximo da unidade (VILLELA; MATTOS, 1975).

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

onde:

K_c = coeficiente de compacidade;

A = área da bacia (km^2);

P = perímetro da bacia (km).

- Fator de forma

O fator de forma K_f é a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia (da saída da bacia até seu ponto mais distante) e relaciona a forma da bacia a uma forma quadrada. O valor máximo que K_f pode tomar é 1, desse modo, quanto menor for seu valor, menor será a tendência para cheias (GUIMARÃES, 2012). Através da Equação (2) pode-se obter o valor de K_f .

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad (2)$$

onde:

K_f = fator de forma;

A = área da bacia (km^2);

L = comprimento axial da bacia (km).

- Índice de circularidade

No índice de circularidade IC, proposto por Miller (1953 apud CHRISTOFOLETTI, 1980), o valor máximo que se pode obter é 1, o que significa que quanto maior o valor, mais a bacia de drenagem se aproxima da forma circular havendo mais suscetibilidade a inundação. A Equação (3) é usada para obter o índice:

$$IC = \frac{12,57 * A}{P^2} \quad (3)$$

onde:

IC = índice de circularidade;

A = área da bacia (km^2);

P = perímetro da bacia (km).

A seguir (Tabela 1), são apresentados a interpretação dos valores de coeficiente de compacidade (K_c), fator de forma (K_f) e índice de circularidade (IC).

Tabela 1 - Interpretação dos valores

K_c	K_f	IC	Forma da bacia	Características da bacia
1,00 – 1,24	1,00 – 0,75	1,00 – 0,80	Circular	Grande tendência a inundações
1,25 – 1,50	0,75 – 0,50	0,80 – 0,60	Oval	Tendência média a inundações
1,50 – 1,70	0,50 – 0,30	0,60 – 0,40	Oblongo	Baixa tendência a inundações
> 1,70	< 0,30	< 0,40	Alongado	Tendência de conservação

Fonte: Nardini et al. (2013 apud GARCIA; DOURADO; ÁVILA, 2022).

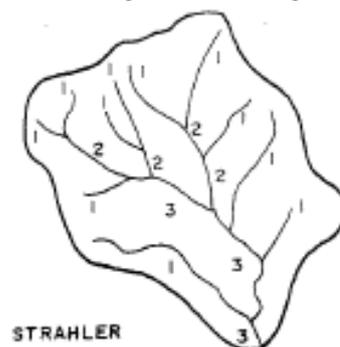
3.1.3 Características da rede de drenagem

- Ordem do curso de água

A ordem dos cursos d'água consiste em classificá-los de forma hierárquica, seguindo os critérios estabelecidos por Robert E. Horton em 1945, que posteriormente foram modificados por Strahler, Figura 3 (CHRISTOFOLETTI, 1980). Esse processo tem a função de facilitar e tornar mais objetivo os estudos morfométricos.

Para Strahler, os menores canais, sem tributários, são considerados como de primeira ordem, estendendo-se desde a nascente até a confluência; os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem, e só recebem afluentes de primeira ordem; os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e de primeira ordens; os canais de quarta ordem surgem da confluência de dois canais de terceira ordem, podendo receber tributários das ordens inferiores. E assim sucessivamente (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Figura 3 - Hierarquia de canais por Strahler



Fonte: Silveira (1993).

- Densidade de drenagem

A densidade de drenagem é a razão do comprimento de todos os cursos d'água do interior da bacia pelo valor da área de drenagem, conforme a Equação (4) (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015). Esse índice reflete a influência da geologia, do solo, topografia e da vegetação da bacia hidrográfica, e está relacionado com o tempo gasto que o escoamento superficial leva para sair da bacia.

$$Dd = \frac{L}{A} \quad (4)$$

onde:

Dd = densidade de drenagem (km/km²);

L = comprimento total de todos os canais (km);

A = área da bacia hidrográfica (km²).

As bacias podem ser classificadas de acordo com Sthraler (1957 apud LIMA, 2008) em:

- baixa Dd: 5,0 km/km²;
- média Dd: 5,0 - 13,5 km/km²;
- alta Dd: 13,5 - 155,5 km/km²;
- muito alta Dd: > 155,5 km/km².

3.2 Desastres Naturais

O estudo qualitativo e quantitativo de desastres naturais em bacias hidrográficas, é de suma importância para o monitoramento dessas áreas. Esses desastres são resultados de fenômenos e desequilíbrios da natureza agravados ou não pelas ações humana sobre um ambiente vulnerável, o que acarreta danos materiais, ambientais e humanos, como também consequentes prejuízos econômicos e sociais (CASTRO, 2012). Terremotos, inundações, furacões, deslizamentos, tsunamis são alguns dos exemplos de fenômenos que geram desastres (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009).

No Brasil, de acordo com o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (2013) dentre tantas ocorrências de desastres naturais, os fenômenos de estiagens e secas; enxurradas; inundações se destacam por serem os que mais afetam a população brasileira e os que mais causam mortes.

No caso dos desastres de inundações, estão ligados a um conjunto de ações antrópicas. Para Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2007) a expansão urbana juntamente com a modificação das condições naturais presentes na região, o desmatamento, a exposição dos terrenos à erosão, o assoreamento dos cursos d'água, a ocupação desordenada de áreas próximas aos rios são todos fatores que aumentam no risco de inundações.

A população que habita áreas de risco está sujeita a ser atingida por fenômenos naturais e/ou induzidos, e conseqüentemente sofrer danos à integridade física, perdas materiais e patrimoniais (BRASIL, 2007). Esses danos refletem a vulnerabilidade que se encontra esta população sob um impacto, ou seja, refletem as condições dos grupos sociais, as classes socioeconômicas, gênero, educação, cultura, aspectos étnicos, entre outros (ATLAS BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 2013).

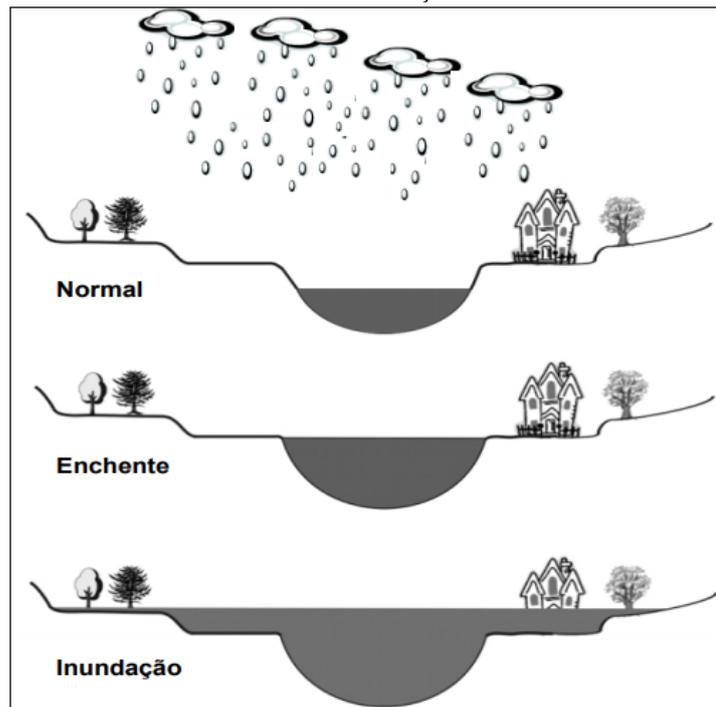
3.3 Inundações

Como exemplo de desastres naturais em bacias hidrográficas pode ser citada as inundações. Sendo essas, consideradas fenômenos de natureza hidrometeorológica, que ocorrem quando a vazão em curso d'água sobrepõem a capacidade de descarga de sua calha, de modo a transbordar para áreas marginais (leito maior, várzea) habitualmente não ocupadas pela água (BRASIL, 2007).

Na literatura portuguesa, entre os termos inundações e enchentes existe grande controvérsia. Em muitos casos as duas palavras são usadas para um mesmo sentido e às vezes gera confusão. Isto pode acontecer devido a tradução equivocada ou adaptações malfeitas de outras línguas. Contudo, ambas terminologias possuem significados diferentes (GOERL; KOBIYAMA, 2005; SOUZA, 2005).

Deste modo, considera inundação o aumento do nível do rio além de sua vazão normal, onde as águas extravasam para áreas próximas a ele, atingindo as planícies de inundação (várzea). Enquanto que nas enchentes, o rio fica cheio, atinge sua margem, porém sem transbordar para áreas adjacentes (KOBIYAMA et al., 2006). A Figura 4 ilustra a evolução.

Figura 4 - Elevação do nível de um rio provocada pelas chuvas, do nível normal até a ocorrência de uma inundação



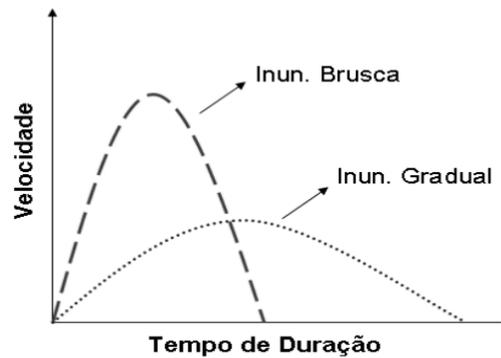
Fonte: Goerl e Kobiyama (2005).

De acordo com Tucci (2005) a inundação pode ser produzida por condições hidrológicas naturais ou artificiais. A primeira condição é propiciada pela bacia em seu estado natural, considerando a forma do relevo, cobertura vegetal, tipo de precipitação, capacidade de drenagem. Já a segunda condição, é provocada pelas ações do homem, em razão aos resultados de obras hidráulicas, uso agrícola, urbanização, desmatamento e reflorestamento.

As condições naturais permitem compreender a dinâmica do escoamento da água nas bacias hidrográficas conforme o regime de chuva. De forma que é possível prever a velocidade do processo de inundações de acordo com as características da região (AMARAL; RIBEIRO, 2009).

Em regiões de grandes bacias hidrográficas e rios com planícies extensas, as inundações geradas são graduais e evoluem de forma facilmente previsível. O fenômeno possui uma sazonalidade e é intensificado por variáveis climatológicas de médio e longos prazos. Já as regiões com bacias de pequeno a médio porte, geralmente são mais acidentadas o que torna o escoamento mais rápido, provocando inundações bruscas. Normalmente, esse fenômeno está relacionado a chuvas intensas e constantes, e sua ação traz danos bem mais severos que as inundações graduais, conforme Figura 5 (CASTRO, 2003).

Figura 5 - Diferença entre inundação gradual e brusca



Fonte: Kobiyama et al. (2006).

Em áreas urbanas, Tucci (2003) aponta dois tipos de processos que ocorrem, são eles: inundações ribeirinhas e inundações devido a urbanização. Esses processos podem acontecer de forma isolada ou de forma integrada.

As inundações em áreas ribeirinhas ocorrem naturalmente. Geralmente são produzidas pela precipitação intensa em bacias grandes afetando a população que está presente nas planícies fluviais, isso por falta de planejamento do uso e ocupação do solo (TUCCI, 2003). Enquanto que as inundações devido a urbanização estão relacionadas com o aumento da impermeabilização do solo da bacia hidrográfica, o que faz aumentar a velocidade de escoamento superficial em direção ao sistema de drenagem. A falta de serviços de infraestrutura e de drenagem só pioram os problemas (BRASIL, 2007).

3.4 Inundações na área urbana de Patos de Minas

Historicamente a área urbana de Patos de Minas sofre com desastres ocasionados pelas inundações. Segundo Silva (2019) a ineficiência do sistema de manejo das águas pluviais na cidade e o aumento da impermeabilidade do solo nas bacias são responsáveis pelos impactos que esses eventos causam.

Entre os anos de 1991 a 2010 Patos de Minas apresentou 3 registros de inundações bruscas e um registro de inundação gradual UFSC (2011 apud Nogueira 2017). Em 1992 houve a ocorrência de um evento que atingiu cota de 782 metros de altitude (NOGUEIRA, 2019). Deste então, a Lei de Uso e Ocupação do Solo definiu que áreas abaixo dessa cota são passíveis de inundação e devem ser preservadas (PATOS DE MINAS, 2008).

Uma das regiões que enfrenta problemas recorrentes com as inundações é o trecho canalizado do Córrego do Monjolo (Figura 6) e (Figura 7). De acordo com Silva (2019), a

ausência de microdrenagem a montante do mesmo, juntamente com a impermeabilização do solo, fazem aumentar o volume e a velocidade com que a água chega no canal.

Figura 6 - Córrego do Monjolo - Patos de Minas



Fonte: Prefeitura de Patos de Minas (2022).

Figura 7 - Inundação Córrego do Monjolo – 2018



Fonte: G1 Triângulo Mineiro (2018).

Em janeiro de 2022, foram desalojadas e desabrigadas um total de 307 pessoas, dentre elas, 56 crianças, após a ocorrência de inundações provocadas pelo Córrego do Monjolo e Rio Paranaíba em diferentes bairros, sendo um deles o bairro São José Operário (TV INTEGRAÇÃO E G1 TRIANGULO E ALTO PARANAÍBA, 2022).

Outro ponto com problemas em períodos chuvosos é a antiga Lagoa dos Patos, região que foi aterrada e hoje se encontra uma variedade de construções, como comércios, shopping e casas (SILVA, 2019).

3.5 Informações Geoespaciais

Diversas são as geotecnologias que auxiliam o estudo do fenômeno das inundações em bacias hidrográficas e áreas urbanizadas. Dentre elas, Rosa (2013) destaca o Sensoriamento Remoto, a Cartografia Digital, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e o Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS).

Estas tecnologias são aplicadas à análise, à exploração, ao estudo e à conservação dos recursos naturais, como também, no estudo da paisagem (topografia, hidrografia e geomorfologia), variáveis ambientais (temperatura, radiação solar), auxiliar na prevenção de desastres naturais e no monitoramento e gerenciamento da atividade humana (TÔSTO et al., 2014). Portanto, são fundamentais na aplicação de análise e mapeamento de inundações.

A tecnologia de Sensoriamento Remoto é empregada em escala mundial e possibilita a coleta de informações de uma superfície (objeto) distante, através da captação da energia

emitida ou refletida pelo objeto. Por meio dele é possível adquirir imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre sem que haja o contato físico entre o sensor e a superfície (FLORENZANO, 2002).

Estas imagens e dados adquiridos como produtos, podem ser manipulados e analisados através das ferramentas de geoprocessamento, que utiliza técnicas computacionais chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para o tratamento da informação geográfica (CAMARA; MEDEIROS, 1998).

O SIG por sua vez, pode ser definido como um sistema que permite processar dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos) dando importância a modelagens de superfícies e análises espaciais (INPE, 2006). Para Rosa (2005), é considerado um conjunto de ferramentas computacionais que por meio de técnicas, integra dados, de forma a tornar possível a coleta, o processamento, o armazenamento, a análise e a oferta de informações georreferenciadas.

Segundo Florenzano (2005) a utilização do SIG juntamente com dados topográficos obtidos por sensores remotos, permite adquirir de forma automática variáveis (altitude, declividade, orientação de vertentes, etc.) que são fundamentais em estudo ambientais como mapeamento de inundações.

Na representação do relevo de uma determinada região o Modelo Digital de Elevação (MDE) é um dos produtos do Sensoriamento Remoto que permite extrair informações para estudos hidrológicos e topográficos. O MDE se baseia na utilização de grade ou matriz onde cada elemento possui um valor que corresponde a altitude local. Por meio dele, é possível identificar qual é a direção preferencial de escoamento de um terreno (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015).

O processamento digital de imagem também é outra ferramenta que auxilia nas análises e estudos ambientais. O que permite aos usuários a aplicação de uma grande variedade de técnicas de processamento, convenientes ao tratamento de imagens para extração de informações. As principais técnicas usadas consistem na correção de imagens, realce de imagens, transformação de imagens e classificação (ROSA, 2013).

A correção de imagem, segundo Rosa (2013), procura remover os efeitos de degradação geradas na captação da mesma, podendo ser aplicadas correções radiométrica, atmosférica e geométrica. Já o realce de imagens, é realizado para tornar a imagem mais apropriada às capacidades da visão humana, ou seja, destacar certas informações de modo a facilitar a análise posterior. A transformação corresponde a derivação de novas imagens por meio de algum tratamento das bandas das imagens brutas.

A classificação, refere-se à interpretação de imagens auxiliada por computador, onde, na maior parte se baseia na detecção de assinaturas espectrais de classes de cobertura do solo. Significa também, a associação de pontos de uma imagem a uma classe de grupo, como por exemplo: água, área urbana, cultura, floresta etc. (ROSA, 2013). Nestes estudo a classificação de imagem foi realizada manualmente.

Considerando todos esses aspectos mencionados, as áreas suscetíveis a inundações podem ser analisadas e mapeadas com base em metodologias de multicritério. A técnica matemática *Analytic Hierarchy Process* (AHP) desenvolvida por tomas L. Saaty, na década de 70, é um método multicritério amplamente utilizado em tomada de decisão que provou ser eficaz em diversas áreas tanto no meio acadêmico como no mercado profissional (MARINS et al., 2009; SILVA, 2007).

Os autores Nogueira (2019), Magalhães et al. (2012), Hammami et al. (2019) e Garcia et al. (2022), aplicaram a metodologia AHP para análise de suscetibilidade à inundação e apresentaram resultados satisfatórios com sua utilização.

4 METODOLOGIA

4.1 Área de Estudo

O município de Patos de Minas está localizado na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, estado de Minas Gerais. Em 2021, sua população foi estimada em 154.641 habitantes, que estão distribuídos sobre uma área de 3.190,456 km² (IBGE, 2021a). O mesmo é constituído por 7 distritos sendo eles: Sede, Bom Sucesso de Patos, Chumbo, Major Porto, Pilar, Pindaíbas e Santana de Patos (PATOS DE MINAS, 2022).

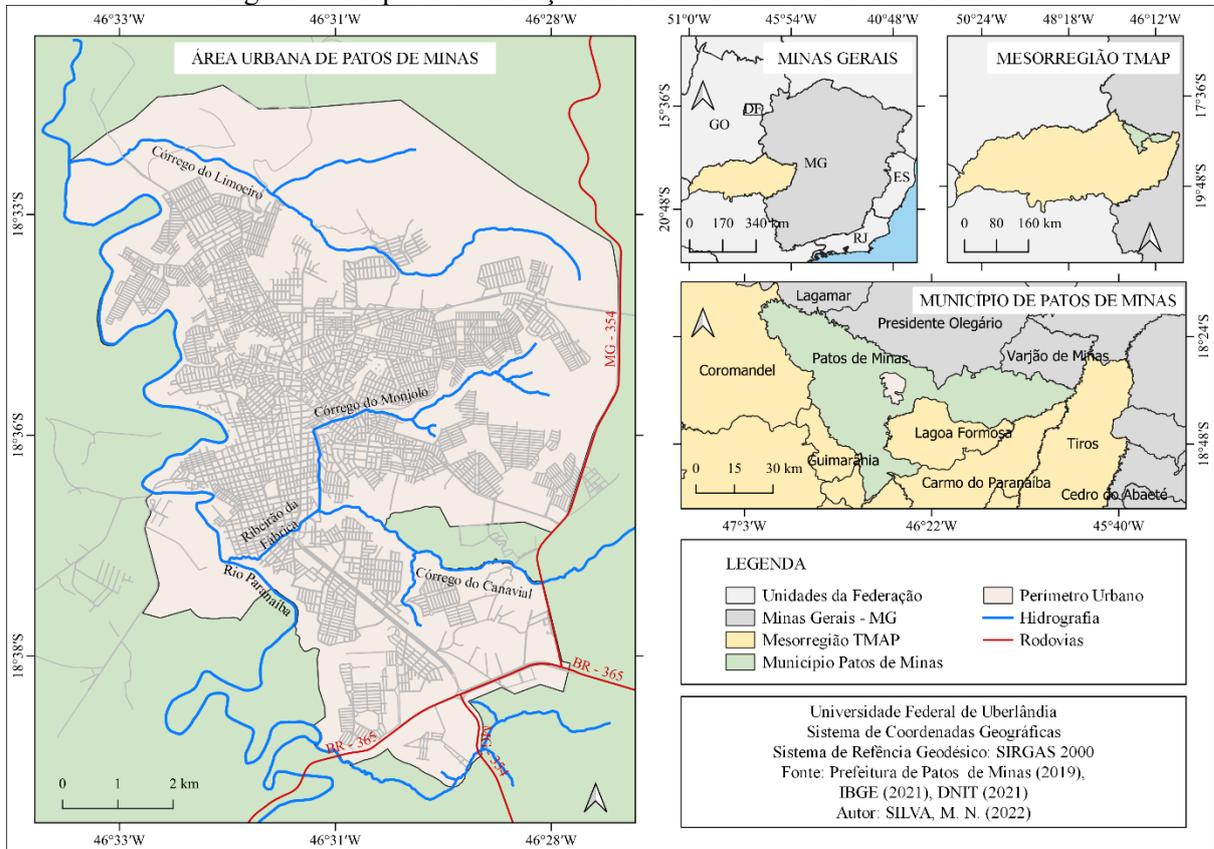
O distrito Sede é a região de interesse deste estudo e pode ser localizado entre as coordenadas geográficas -18° 36' 00" (Latitude) e -46° 31' 00" (Longitude), como mostra a Figura 8. A cidade também se encontra a margem direita do rio Paranaíba que é o principal curso d'água do município, fonte de água e o receptor dos esgotos gerados pela população da área urbana (CAIXETA, 2008).

Patos de Minas é considerada como cidade polo e está entre as 20 maiores de Minas Gerais fazendo parte dos principais municípios mineiros por sua posição privilegiada.

O relevo da região é caracterizado por terrenos planos e elevados, onde pode ser observado vales e serras. A altitude média do município é de aproximadamente 900 metros, tendo o ponto mais alto na Serra do Pântano, com 1.178 metros, e o ponto mais baixo com 750

metros (MELLO, 2008). Pode-se ressaltar que a região de Patos de Minas é caracterizada com vegetação de cerrado, matas, campos e áreas de cultivo, além de possuir um clima tropical, onde o verão é quente e úmido e o inverno, seco com temperaturas amenas (MELLO, 1982 apud CAIXETA, 2013).

Figura 8 - Mapa de localização da Área Urbana de Patos de Minas



Fonte: A autora.

4.2 Material

Para realizar esta pesquisa foram utilizados os seguintes materiais:

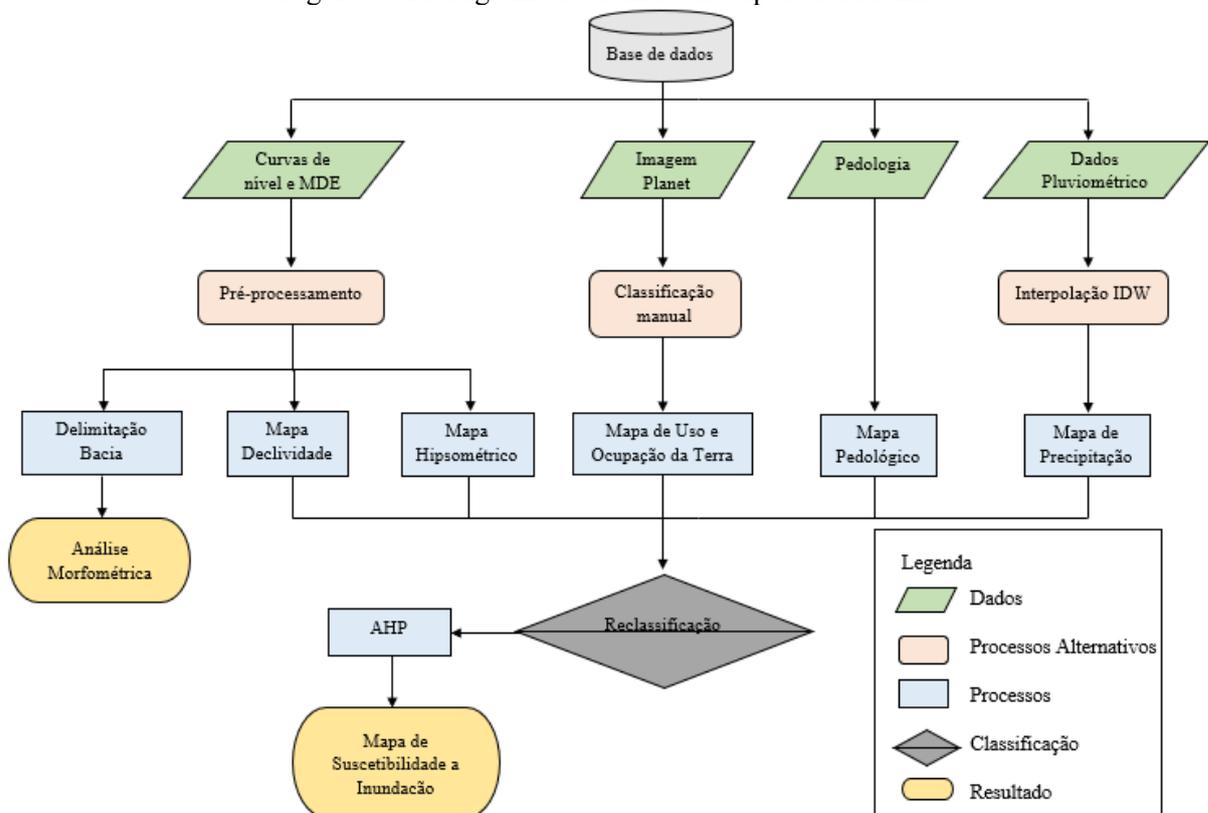
- Dados vetoriais no formato *shapefile* (pedologia, limites municipais, estaduais, federais) baixados no *site* do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (IBGE, 2021b);
- Dados vetoriais no formato *shapefile* contendo a malha viária disponibilizados pelo Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes – DNIT (DNIT, 2021);
- *Quads* de imagens Planet com resolução espacial de 5 metros e data de 25/11/2021 baixadas gratuitamente pelo *site* do Planet (PLANET, 2021);

- MDE com resolução espacial de 8 metros e curvas de nível com espaçamento de 5 metros do município de Patos de Minas disponibilizados pela Prefeitura Municipal no formato *shapefile*, do ano 2019, e projeção cartográfica UTM;
- Dados de estações pluviométricas adquiridos no *site* da Agência Nacional de Água (ANA) pelo portal HidroWeb;
- *Software* livre Qgis utilizado para processamento, análise de dados e elaboração de mapas.

4.3 Métodos

Os procedimentos metodológicos desenvolvidos nesta pesquisa podem ser vistos no fluxograma, a seguir (Figura 9).

Figura 9 - Fluxograma abordando as etapas do trabalho



Elaboração: A autora.

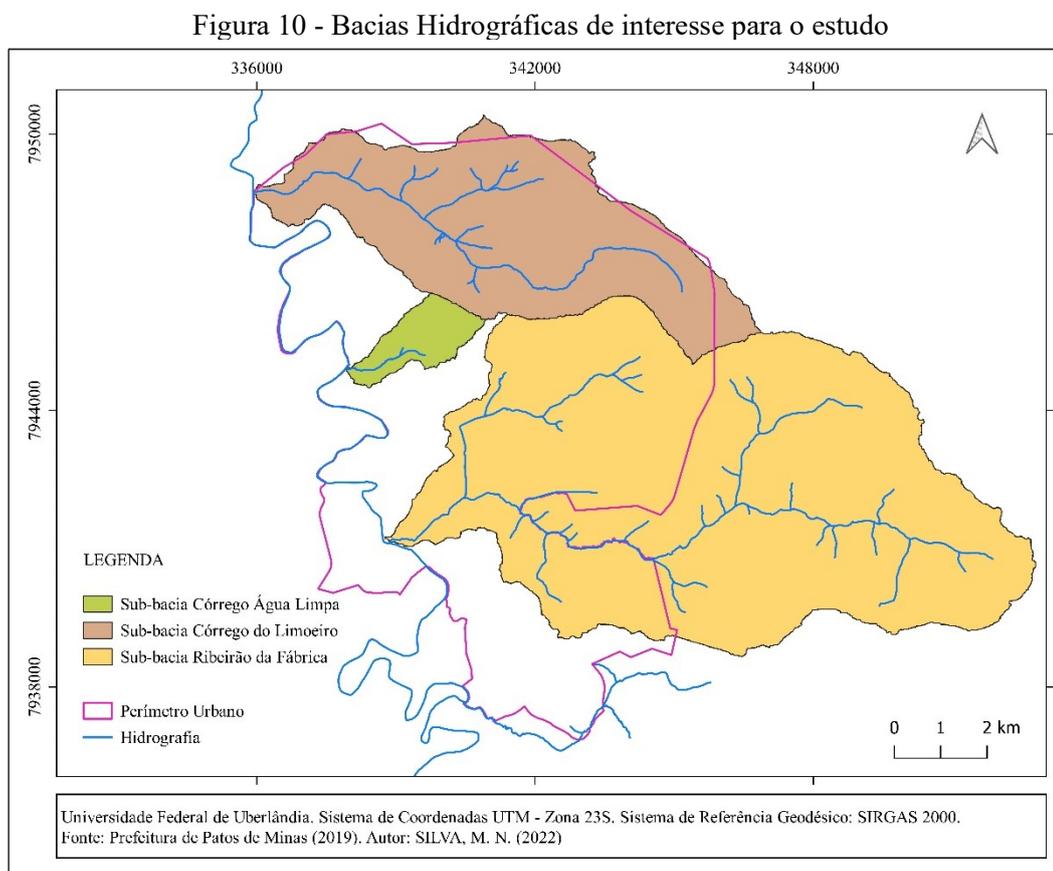
4.3.1 Delimitações de bacias hidrográficas e extração de dados morfométricos

Segundo Nogueira (2017) a área urbana de Patos de Minas apresenta um total de 10 sub-bacias, dentre elas, o Córrego do Limoeiro, Córrego Água Limpa e o Ribeirão da Fábrica foram escolhidas para a análise morfométrica deste estudo.

As delimitações das bacias hidrográficas foram realizadas utilizando como base o MDE disponibilizado pela Prefeitura de Patos de Minas. O mesmo já projetado para o sistema de coordenadas planas UTM e com resolução de 8 metros.

Inicialmente, o MDE foi aberto no *software* Qgis e recortado para a área de interesse. A ferramenta de recorte se encontra em ‘raster – extrair – recortar pela extensão’. Em seguida, foi realizado a filtragem do arquivo por meio da ferramenta *GRASS – r.fill.dir*, que tem como função preencher depressões.

Com o MDE recortado e filtrado foram gerados arquivos *raster* de direções de drenagem e de segmentos de fluxo, usando a ferramenta *GRASS – r.watershed*. Logo após a criação desses arquivos, através da ferramenta *GRASS – r.water.outlet*, pôde-se gerar a delimitação das bacias hidrográficas (Figura 10) escolhendo os pontos específicos de seus exutórios.



Fonte: A autora.

Os arquivos, em formato *raster*, das bacias hidrográficas e dos seguimentos de fluxos, foram convertidos e salvos em formato vetorial para posteriormente serem usados nos cálculos

de área, perímetro e outras características das bacias. A ferramenta de conversão se encontra em *GRASS – r.to.vect*.

Na extração dos dados morfométricos foram analisados os índices apresentados no tópico 3.1.1, sendo eles: área da bacia, perímetro, coeficiente de compacidade, fator de forma, índice de circularidade, ordem do curso de água e densidade de drenagem. Através da ferramenta calculadora de campo, do Qgis, obteve-se os valores de cada parâmetro de entrada (área, perímetro, comprimento, etc.) que, em seguida, foram aplicados nas fórmulas apresentadas.

4.3.2 Elaboração de mapas temáticos dos fatores a serem analisados

Esta fase consiste em descrever os procedimentos realizados para a elaboração dos mapas de hipsometria, declividade, precipitação, pedologia e uso e ocupação da terra. Os métodos que foram empregados são adaptações das metodologias feitas por Magalhães et al. (2012) e Santos et al. (2010).

Para dar início a construção dos mapas de hipsometria e de declividade, primeiramente, foi necessário gerar o Modelo Digital de Elevação (MDE) proveniente das curvas de nível disponibilizadas pela prefeitura (Figura 11). No *software* Qgis, as curvas com distância de 5 metros e formato *shapefile* foram inseridas e recortadas usando uma camada de referência maior que a área de estudo, em sequência, com a ferramenta interpolação TIN gerou-se o MDE com resolução de 8 metros (Figura 12).

Figura 11 - Curvas de nível (5m)

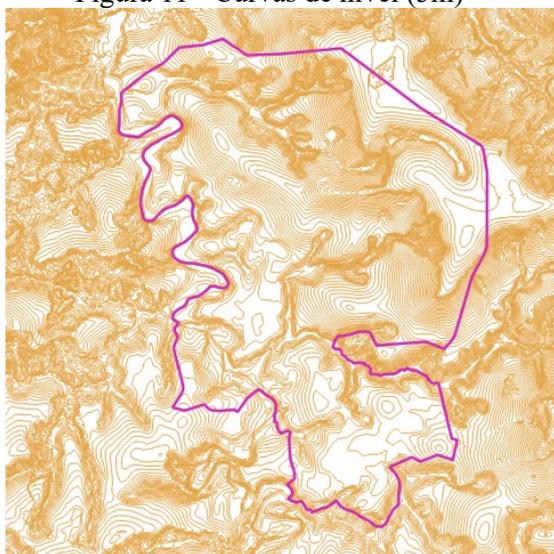
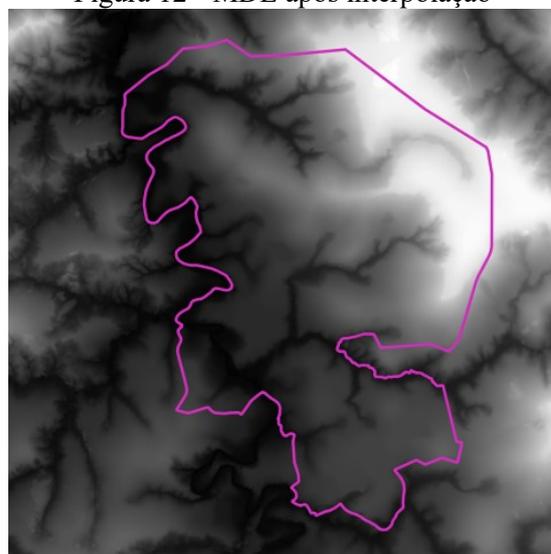


Figura 12 - MDE após interpolação



Fonte: A autora.

O mapa hipsométrico foi feito a partir do MDE gerado pelas curvas de nível. O mesmo foi recortado para a área de estudo através da ferramenta ‘*raster – extrair – máscara*’, presente no *software* Qgis. Em seguida, foi aplicado a ferramenta de classificação que permite atribuir cores aos intervalos altimétricos, a operação foi feita em ‘propriedades da camada – simbologia – banda simples falsa cor – classificar’.

Para o mapa de declividade, foi usado o arquivo *raster* MDE recortado na etapa anterior. A declividade, em porcentagem, foi gerada pela ferramenta ‘*raster – análise – declividade*’. Posteriormente, realizou-se a reclassificação de acordo com as classes de relevo propostas pela EMBRAPA, através da ferramentas ‘– *GRASS – r.reclass*’.

As classes de relevo reconhecidas pela EMBRAPA podem ser vistas na Tabela 2.

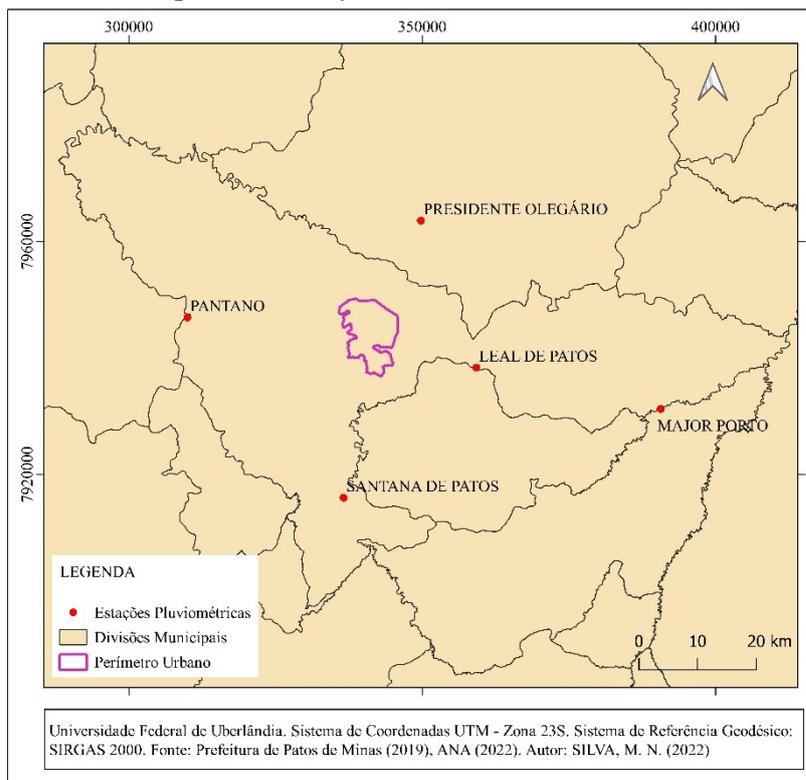
Tabela 2 - Classes de declividade

DECLIVIDADE (%)	DISCRIMINAÇÃO
0 – 3	Relevo plano
3 – 8	Relevo suavemente ondulado
8 – 20	Relevo ondulado
20 – 45	Relevo fortemente ondulado
45 – 75	Relevo montanhoso
> 75	Relevo fortemente montanhoso

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2018).

Para elaboração do mapa de precipitação, foram utilizados dados de 5 estações pluviométricas do *site* da ANA que estão distribuídas no entorno da área de estudo (Figura 13).

Figura 13 - Estações Pluviométricas da ANA



Fonte: A autora.

Para cada estação foi baixado um arquivo em formato .CSV com dados históricos de chuva. Foi considerado uma escala temporal de 10 anos (2012 a 2021) em seguida, realizou-se o somatório de chuva anual e a média dos 10 anos. Os valores obtidos estão presentes na Tabela 3.

Tabela 3 - Estações ANA

Estação	Código da Estação	Média de chuva 10 anos (mm)
Leal de Patos	1846017	1395,23
Major Porto	1846003	1229,48
Pantano	1846006	1419,37
Presidente Olegário	1846005	1344,37
Santana de Patos	1846007	1225,12

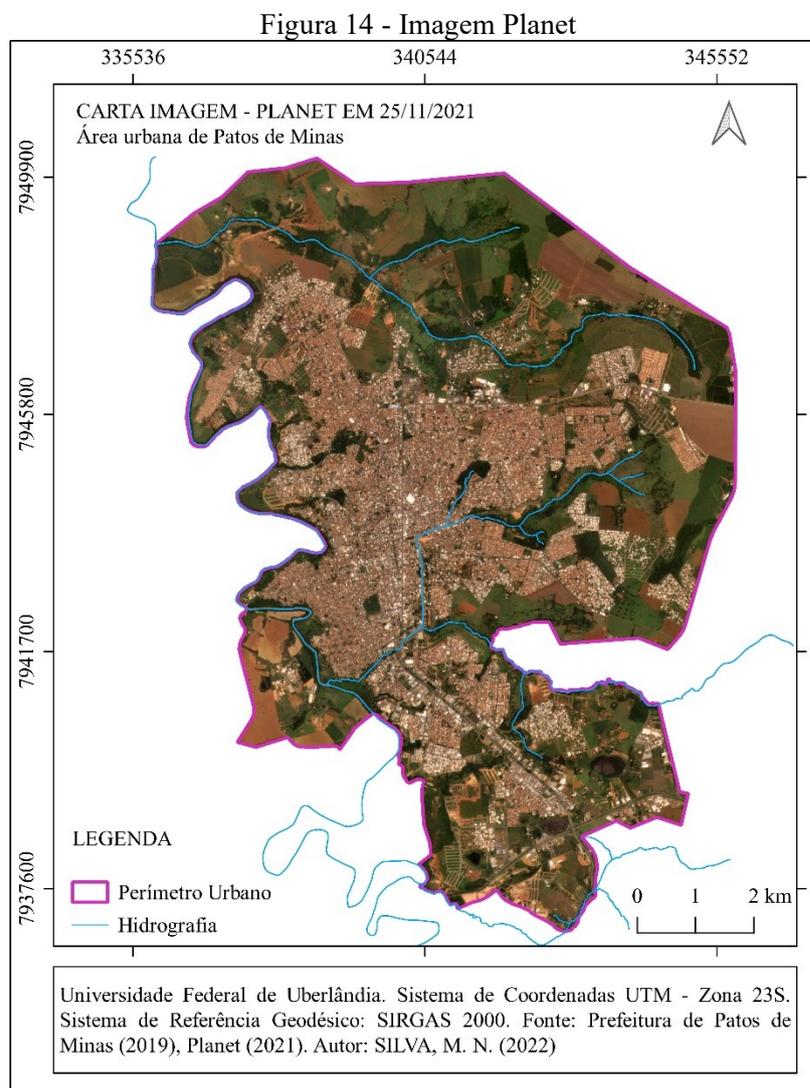
Fonte: ANA (2022).

No *software* Qgis, foi inserida uma camada vetorial com os pontos das estações escolhidas, posteriormente os valores de precipitação calculados foram atribuídos a tabela de atributos da camada. Logo após, realizou-se uma interpolação para estimar valores de chuvas nas regiões da área de estudo que não apresentam informações. Esse processo foi feito pelo método Inverso da Distância Ponderada (IDW) que fica disponível na ‘caixa de ferramentas –

interpolador – interpolação IDW’. O mapa foi gerado com extensão para a área de estudo e resolução de 8 metros.

O mapa pedológico foi elaborado a partir de dado vetorial disponibilizado pelo *site* do IBGE, que contém informações dos tipos de solos. Após o recorte para a área de estudo pela ferramenta ‘vetor – geoprocessamento – recortar’, o mesmo foi classificado de acordo com os tipos de solos existentes na região.

O mapa de uso e ocupação do solo foi gerado a partir de dois *quads* de imagens Planet com resolução de cinco metros, disponibilizados na plataforma Planet. O mosaico dos dois *quads* foi gerado pela ferramenta ‘*raster – miscelânea – mesclar*’. A imagem final foi reprojeta para o sistema de coordenadas UTM e recortada para o perímetro urbano (Figura 14). Logo após, foi feita a classificação manual onde se observou a tonalidade, forma e textura das classes analisadas.



Fonte: A autora.

Na Tabela 4 são apresentadas as classes identificadas na área de estudo.

Tabela 4 - Classes de uso e ocupação da terra

id	Tipo de Classe
1	Água
2	Área Edificada
3	Construção Rural
4	Cultura Permanente
5	Cultura Temporária
6	Loteamento/Lote Vago
7	Pastagem
8	Solo exposto
9	Vegetação

Fonte: A autora.

4.3.3 Mapeamento da suscetibilidade à inundação

Nessa etapa foi necessário realizar a conversão dos mapas vetoriais (pedologia, uso e ocupação da terra) para o formato *raster* através da ferramenta ‘*raster – converter – converter vetor para raster*’. Nos dados de saída, foram consideradas as mesmas extensões dos mapas de declividade, hipsometria e precipitação, como também o tamanho do pixel de 8 metros.

Com todos os fatores em formato *raster*, para dar origem aos mapas intermediários, foi necessário reclassificar os mapas temáticos atribuindo-lhes notas de 1 a 5 para cada classe conforme o nível de suscetibilidade à inundação (Tabela 5). A reclassificação foi feita por meio da ferramenta reclassificar por tabela disponibilizada na caixa de ferramentas do Qgis.

Tabela 5 - Nível de suscetibilidade à inundação

Nível	Suscetibilidade à inundação
1	Muito Baixa
2	Baixa
3	Média
4	Alta
5	Muito Alta

Fonte: Adaptado de Garcia; Dourado; Ávila (2022).

O mapa de hipsometria recebeu os seguintes valores de nível (Tabela 6):

Tabela 6 - Notas para hipsometria

Classe	Nível	Suscetibilidade à inundação
775 - 800	5	Muito Alta
800 - 870	4	Alta
870 - 940	3	Média
940 - 1010	2	Baixa
1010 - 1079	1	Muito Baixa

Fonte: A autora.

O mapa de declividade recebeu os seguintes valores de nível (Tabela 7):

Tabela 7 - Notas para declividade

Classe	Nível	Suscetibilidade à inundação
0 - 3	5	Muito Alta
3 - 8	4	Alta
8 - 20	3	Média
20 - 45	2	Baixa
45 - 75	1	Muito Baixa

Fonte: A autora.

O mapa de precipitação recebeu os seguintes valores de nível (Tabela 8):

Tabela 8 - Notas para precipitação

Classe	Nível	Suscetibilidade à inundação
1334 - 1340	4	Alta
1340 - 1350	4	Alta
1350 - 1356	5	Muito Alta

Fonte: A autora.

O mapa pedológico recebeu os seguintes valores de nível (Tabela 9):

Tabela 9 - Notas para pedologia

Classe	Nível	Suscetibilidade à inundação
Área Edificada	5	Muito Alta
Cambissolo Háptico	2	Baixa
Latossolo Vermelho	2	Baixa

Fonte: A autora.

O mapa de uso e ocupação da terra recebeu os seguintes valores de nível (Tabela 10):

Tabela 10 - Notas para uso e ocupação da terra

Classe	Nível	Suscetibilidade à inundação
Água	5	Muito Alta
Área Edificada	4	Alta
Construção Rural	3	Média
Cultura Permanente	3	Média
Cultura Temporária	4	Alta
Loteamento/lote Vago	4	Alta
Pastagem	3	Média
Solo Exposto	4	Alta
Vegetação	1	Muito Baixa

Fonte: A autora.

Em sequência foi aplicado o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), proposto por Saaty (1977). Que incide em construir uma escala de importância (Quadro 1) entre os fatores a serem analisados (hypsometria, declividade, precipitação, pedologia e uso e ocupação da terra) e posteriormente colocá-los em uma matriz de relacionamento para ser feito uma comparação pareada (Tabela 11).

Quadro 1 - Escala de comparadores com os respectivos pesos de importância

Valores	Importância Mútua
1/9	Extremamente menos importante
1/7	Muito fortemente menos importante
1/5	Fortemente menos importante
1/3	Moderadamente menos importante
1	Igualmente importante
3	Moderadamente mais importante
5	Fortemente mais importante
7	Muito fortemente mais importante
9	Extremamente mais importante
2,4,6,8	Valores intermediários entre os valores adjacentes

Fonte: Adaptado de Hammami (2019).

Na escala de comparadores, os fatores declividade e hipsometria apresentaram valores iguais quando comparados aos demais, porém, ao serem comparados entre si, considerou valor 2 para declividade em relação a hipsometria.

Tabela 11 - Matriz de comparação dos fatores

Fatores	Precipitação	Pedologia	Uso da terra	Hipsometria	Declividade
Precipitação	1	1/3	1/5	1/7	1/7
Pedologia	3	1	1/3	1/5	1/5
Uso da terra	5	3	1	1/3	1/3
Hipsometria	7	5	3	1	1/2
Declividade	7	5	3	2	1

Fonte: Adaptado de Santos et al. (2010).

Para a geração dos pesos estatísticos, primeiramente se fez a soma total de cada coluna e em seguida, uma divisão do valor referente a cada célula pela soma de sua respectiva coluna (Tabela 12). Por último, realizou-se a média aritmética para cada linha onde se obteve os pesos finais (Tabela 13).

Tabela 12 - Soma de cada coluna

Fatores	Precipitação	Pedologia	Uso da terra	Hipsometria	Declividade
Precipitação	1	1/3	1/5	1/7	1/7
Pedologia	3	1	1/3	1/5	1/5
Uso da terra	5	3	1	1/3	1/3
Hipsometria	7	5	3	1	1/2
Declividade	7	5	3	2	1
Soma Total	23	14,33	7,53	3,68	2,18

Fonte: Adaptado de Santos et al. (2010).

Tabela 13 - Determinação dos pesos estatísticos de cada variável

Fatores	Precipitação	Pedologia	Uso da terra	Hipsometria	Declividade	Peso
Precipitação	1/23	0,33/14,33	0,20/7,53	0,14/3,68	0,14/2,18	0,0395
Pedologia	3/23	1/14,33	0,33/7,53	0,20/3,68	0,20/2,18	0,0781
Uso da terra	5/23	3/14,33	1/7,53	0,33/3,68	0,33/2,18	0,1606
Hipsometria	7/23	5/14,33	3/7,53	1/3,68	0,50/2,18	0,3106
Declividade	7/23	5/14,33	3/7,53	2/3,68	1/2,18	0,4109

Fonte: Adaptado de Santos et al. (2010).

A razão de consistência (RC) foi calculada para avaliar a veracidade dos pesos. Para tal, primeiramente se avaliou o valor de A_w .

$$A_w = \begin{bmatrix} 1 & 0,33 & 0,20 & 0,14 & 0,14 \\ 3 & 1 & 0,33 & 0,20 & 0,20 \\ 5 & 3 & 1 & 0,33 & 0,33 \\ 7 & 5 & 3 & 1 & 0,50 \\ 7 & 5 & 3 & 2 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,0395 \\ 0,0781 \\ 0,1606 \\ 0,3106 \\ 0,4109 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,2008 \\ 0,3947 \\ 0,8334 \\ 1,6657 \\ 2,1819 \end{bmatrix}$$

Posteriormente calculou-se o autovetor (λ_{\max}) e o índice de consistência (IC) (Equação 5) e (Equação 6).

(5)

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[A_w]_i}{W_i} = \frac{1}{5} \left(\frac{0,2008}{0,0395} + \frac{0,3947}{0,0781} + \frac{0,8334}{0,1606} + \frac{1,6657}{0,3106} + \frac{2,1819}{0,4109} \right) = 5,1973$$

(6)

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{5,1973 - 5}{5 - 1} = 0,0493$$

Por fim a razão de consistência (RC) (Equação 7).

(7)

$$RC = \frac{IC}{IR} = \frac{0,0493}{1,12} = 0,0440$$

O valor encontrado para RC foi menor que 0,10 portanto, os pesos calculados para o modelo são validáveis/legítimos.

Após a análise estatística dos pesos, o mapeamento das áreas suscetíveis à inundação foi obtido a partir do modelo matemático da Equação (8) pela ferramenta calculadora *raster*, presente no Qgis.

$$\left[\begin{array}{l} \text{Suscetibilidade à inundação} = (\text{PP} * \text{precipitação}) + (\text{PD} * \text{declividade}) + (\text{PH} * \text{hipsometria}) \\ + (\text{PT} * \text{pedologia}) + (\text{PU} * \text{uso e ocupação da terra}) \end{array} \right] \quad (8)$$

onde:

PH = Peso hipsometria;

PD = Peso declividade;

PP = Peso precipitação;

PT = Peso pedologia;

PU = Peso uso e ocupação da terra.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse tópico serão apresentados os resultados obtidos ao longo desta pesquisa. A primeira parte se refere à análise morfométrica das bacias hidrográficas, a segunda parte, aos mapas temáticos e seus respectivos mapas intermediários e, na terceira parte, será apresentado o mapa final de suscetibilidade à inundação para a área urbana de Patos de Minas.

5.1 Análise morfométrica

Os resultados dos parâmetros morfométricos das sub-bacias Córrego do Limoeiro, Córrego da Água Limpa e Ribeirão da Fábrica estão presentes na Tabela 14.

Tabela 14 - Resultados morfométricos

Parâmetros	Córrego do Limoeiro	Córrego Água Limpa	Ribeirão da Fábrica
Área (km ²)	26,90	2,74	68,73
Perímetro (km)	38,96	11,44	54,38
Comprimento do rio principal (km)	11,57	1,94	15,44
Comprimento de todos os rios (km)	18,12	2,13	46,37
Coefficiente de compacidade	2,10	1,93	1,84
Fator de forma	0,21	0,27	0,35
Índice de circularidade	0,22	0,26	0,29
Ordem do canal principal	3	2	4
Densidade de drenagem (km/km ²)	0,67	0,78	0,67

Fonte: A autora.

A análise morfométrica da bacia do Córrego do Limoeiro em relação a sua forma mostrou ser irregular, pois, o valor do coeficiente de compacidade ($K_c = 2,10$) se distanciou do valor unitário que representa bacias circulares. O resultado do fator de forma ($K_f = 0,21$) e do índice de circularidade ($IC = 0,22$) foram baixos e distantes do valor 1, caracterizando, portanto, uma bacia alongada, sem tendências de inundações. Em relação a ordem dos cursos de água e a densidade de drenagem ($Dd = 0,67$) mostrou ser de terceira ordem, de baixa densidade de drenagem.

Para a bacia do Córrego Água Limpa os resultados morfométricos do coeficiente de compacidade ($K_c = 1,93$), fator de forma ($K_f = 0,27$) e índice de circularidade ($IC = 0,26$) apresentaram serem distantes do valor unitário com características para uma bacia alongada e

sem suscetibilidade a ocorrências de inundações. Além do mais, seu canal principal mostrou ser de segunda ordem, com baixa densidade de drenagem ($Dd = 0,78$).

A morfometria para a bacia do Ribeirão da Fábrica resultou em valores semelhantes para o coeficiente de compactidade ($K_c = 1,84$) e índice de circularidade ($IC = 0,29$), porém, quando comparada com as outras duas bacias, para o fator de forma ($K_f = 0,35$) a bacia se enquadrou na característica de baixa tendência à inundação. Seu canal principal foi considerado de quarta ordem e sua densidade de drenagem ($Dd = 0,67$) apresentou ser baixa.

Estudo realizado por Miotto (2014) mostrou características e resultados semelhantes em suas análises morfométricas. A bacia, com área de 63 km^2 exibiu valores de coeficiente de compactidade ($K_c = 1,81$), fator de forma ($K_f = 0,33$) e índice de circularidade ($IC = 0,30$) próximos aos valores encontrados nesse trabalho. O autor constatou que a bacia tende a ser mais alongada e sem tendência de inundações em condições normais de precipitação.

Em seu trabalho, Nogueira (2017) fez um estudo das condições morfométricas das bacias do Ribeirão da Fábrica. A autora dividiu a bacia em três sub-bacias menores, a do Córrego do Monjolo, Córrego do Canavial e Ribeirão da Fábrica. A primeira bacia, Córrego Monjolo, resultou em tendência mediana a enchentes, as outras duas bacias não tiveram risco a enchentes. Nogueira concluiu que as três sub-bacias não são sujeitas as enchentes em condições de precipitações normais e, caso venha a acontecer uma enchente de grande proporção, a bacia poderá ter proporções medianas.

5.2 Mapas dos fatores analisados

A altitude do terreno é um dos elementos naturais que exerce impacto significativo no surgimento de inundações sobre uma região. No mapa hipsométrico, conforme mostra a Figura 15a, foi identificado uma variação altimétrica de 775 a 1079 metros, representada em 5 classes com tons de cores do verde ao vermelho.

Observou-se que o terreno de Patos de Minas apresentou maior elevação na região nordeste do perímetro urbano, já a menor elevação se encontrou na região noroeste, ponto exutório do rio Paranaíba em relação ao perímetro urbano.

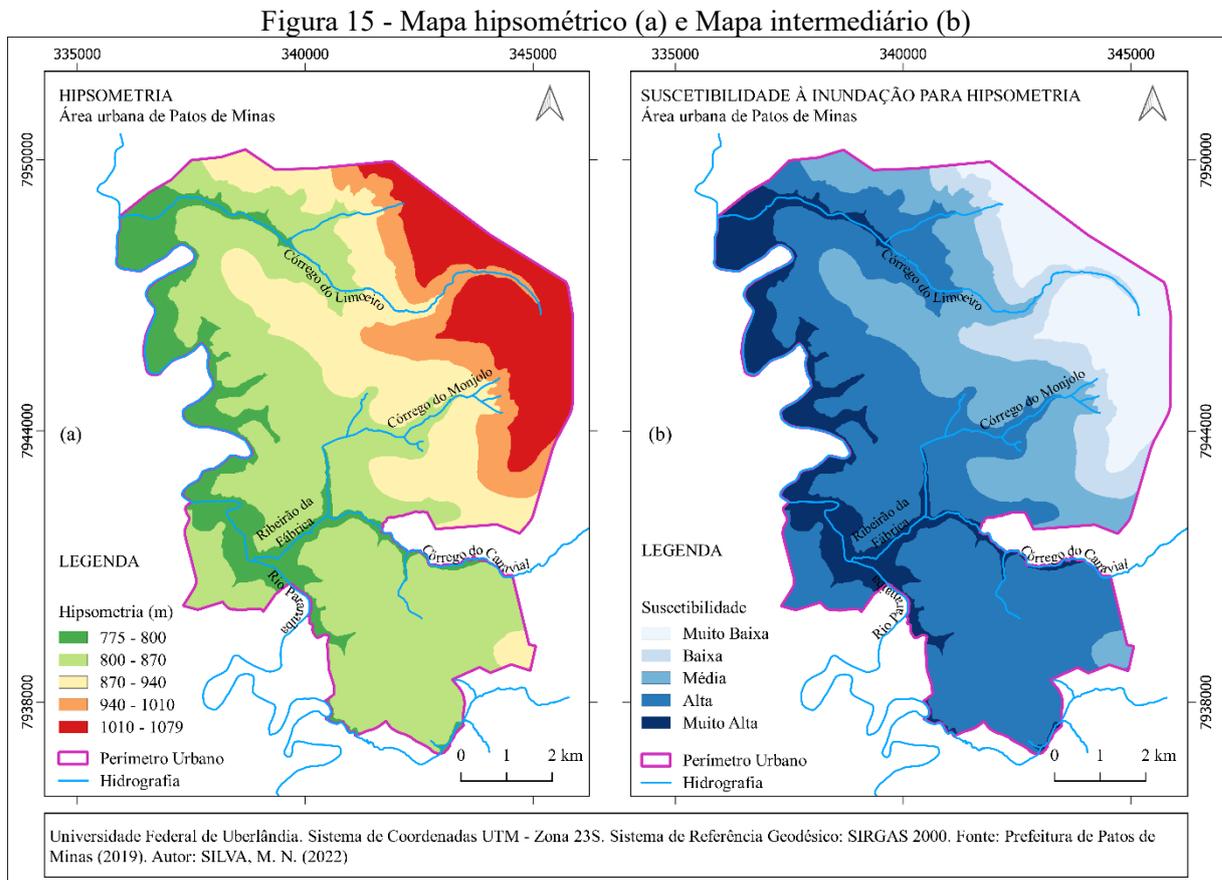
As áreas de cada classe foram calculadas e representadas na Tabela 15, onde pôde-se verificar que o intervalo de 800 a 870 metros teve a maior representatividade em relação aos demais, ocupando cerca de 45% da região total, enquanto a menor representatividade se deu ao intervalo de 940 a 1010 metros, com 8,29% de ocupação.

Tabela 15 - Classes do mapa hipsométrico

Hipsometria (m)	Área (km ²)	Área (%)
775 - 800	10,56	12,56
800 - 870	38,27	45,51
870 - 940	17,38	20,66
940 - 1010	6,97	8,29
1010 - 1079	10,92	12,98
Total	84,1	100

Fonte: A autora.

No mapa intermediário (Figura 15b), a suscetibilidade à inundação do fator hipsométrico resultou em 5 classes. As áreas mais suscetíveis representadas pelas cores mais escuras abrangem principalmente regiões de cursos d'água e áreas urbanizadas dominando toda a extensão esquerda do mapa, enquanto que as áreas menos suscetíveis, presentes à leste, foram identificadas com a presença de pastagem, agricultura e urbanização.



Fonte: A autora.

O mapa de declividade (Figura 16a) é composto por 5 classes que variam de 0% a 45%, onde representam o comportamento do terreno quanto à sua inclinação. As cores verdes caracterizam relevos suavemente ondulados e relevos planos, já as cores em tons avermelhados indicam relevos que variam de ondulado para montanhoso.

Na Tabela 16, verificou-se que a área urbana de Patos de Minas corresponde a 37,54% de relevo suavemente ondulado (3% – 8%), enquanto que os relevos montanhosos fizeram parte da classe com menor porcentagem (0,34%).

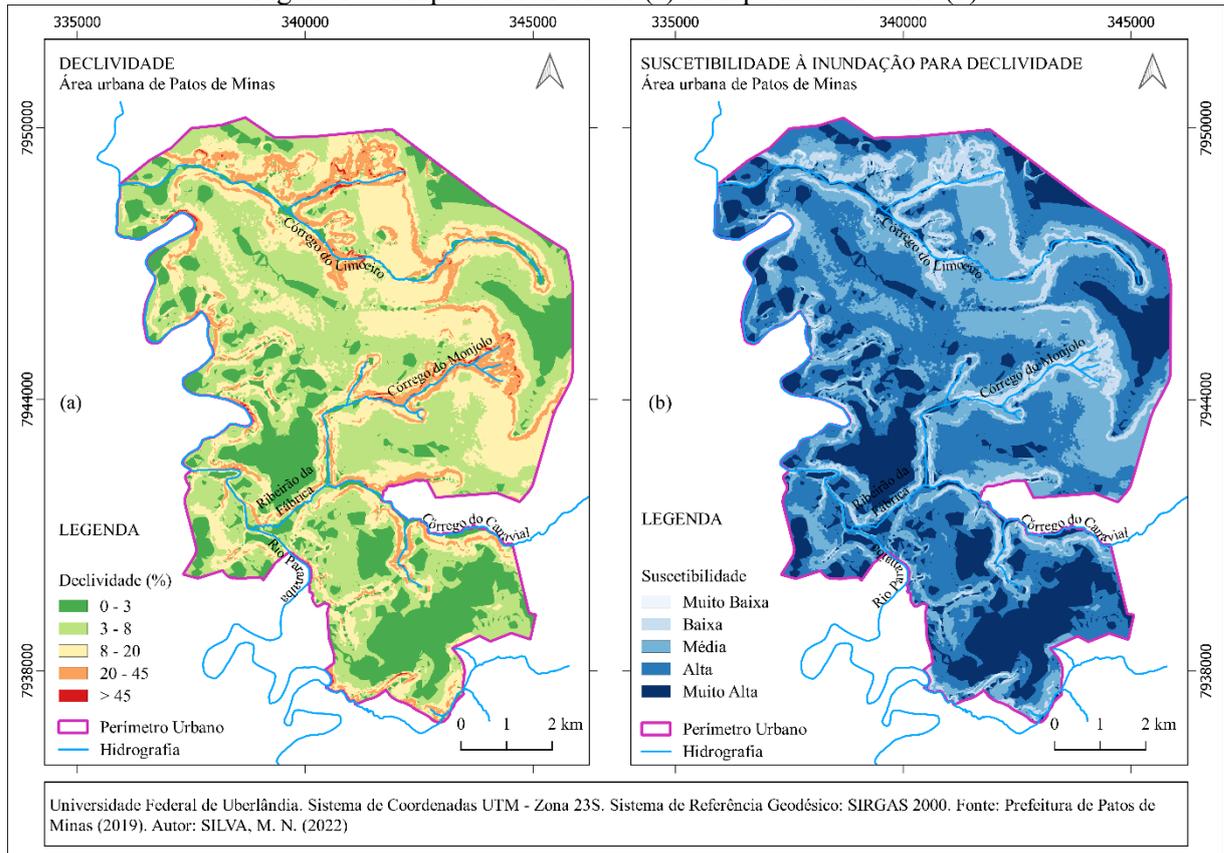
Tabela 16 - Classes do mapa de declividade

Declividade (%)		Área (km²)	Área (%)
0 – 3	Relevo plano	18,34	21,80
3 – 8	Relevo suavemente ondulado	31,57	37,54
8 – 20	Relevo ondulado	25,67	30,52
20 – 45	Relevo fortemente ondulado	8,24	9,80
> 45	Relevo montanhoso	0,29	0,34
Total		84,1	100

Fonte: A autora.

O mapa intermediário, gerado após a reclassificação da declividade, apresentou 5 classes (Figura 16b). Dentre elas, observou-se que as áreas com suscetibilidade muito alta estão distribuídas sobre diferentes regiões do mapa, atingindo áreas agrícolas, áreas de pastagem, cursos d'água e áreas urbanizadas.

Figura 16 - Mapa de declividade (a) e Mapa intermediário (b)



Fonte: A autora.

As médias anuais de precipitação foram calculadas utilizando dados de 10 anos de cinco pluviômetros, o resultado obtido após a interpolação desses dados pode ser visto no mapa de precipitação (Figura 17a). As cinco estações não apresentaram valores discrepantes entre si, o que torna o intervalo entre as classes pequeno, com variação de chuva entre 1334 a 1355 mm.

Na Tabela 17 estão presentes a área e porcentagem de ocupação sobre o mapa. O intervalo de classe de 1340 a 1350 mm foi quem se sobressaiu ocupando 67,50% da área total, equivalente a 56,77 km². A menor representatividade se deu ao intervalo de valores menores que 1340 mm com 5,07%.

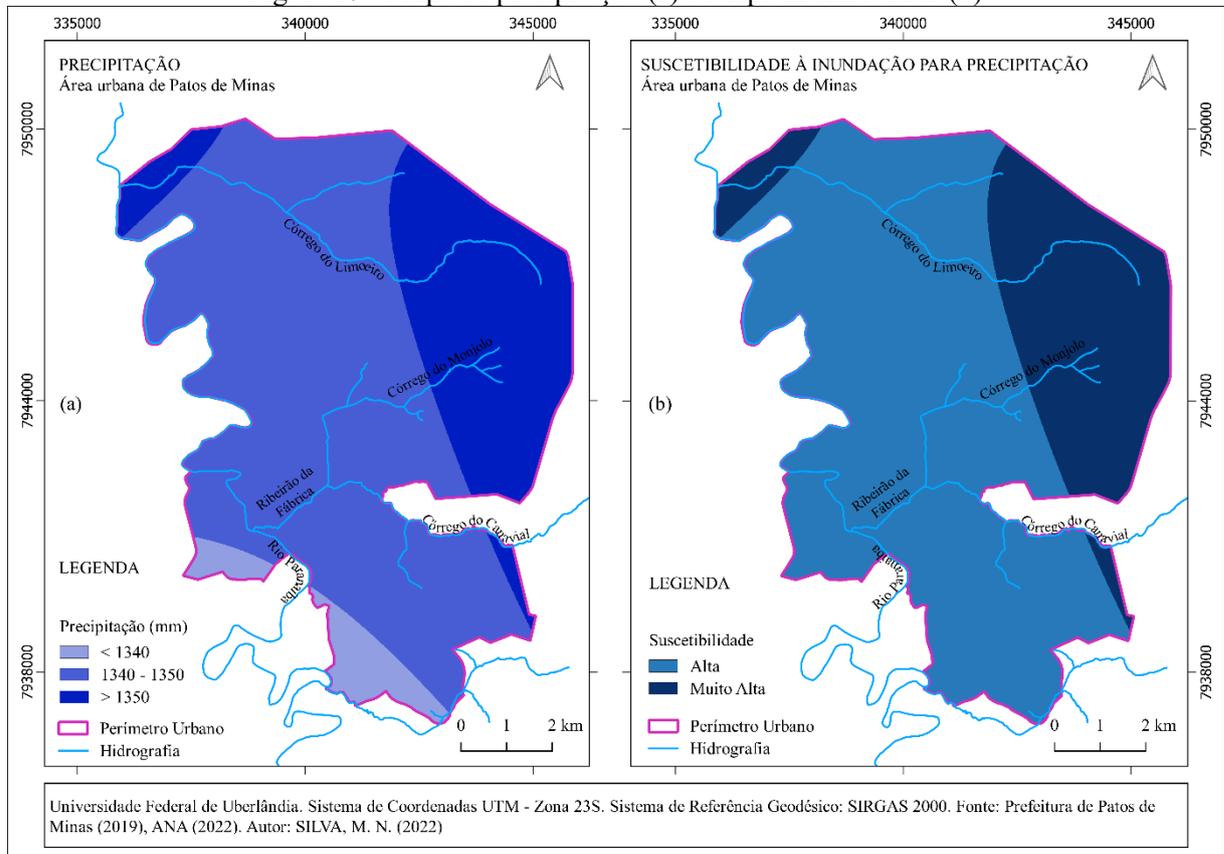
Tabela 17 - Classes do mapa precipitação

Precipitação (mm)	Área (km ²)	Área (%)
< 1340	4,26	5,07
1340 - 1350	56,77	67,50
> 1350	23,07	27,43
Total	84,1	100

Fonte: A autora.

O mapa intermediário, como mostra a Figura 17b, foi reclassificado em duas classes. A suscetibilidade muito alta está representada em maior parte na região leste havendo apenas um pequeno trecho da região noroeste. Já a classe de alta suscetibilidade ocorreu com uma melhor distribuição na área de estudo.

Figura 17 - Mapa de precipitação (a) e Mapa intermediário (b)



Fonte: A autora.

A área urbana de Patos de Minas é composta, predominantemente, por dois tipos solos, o latossolo vermelho e o cambissolo háplico. A região também apresenta uma área impermeável correspondente à urbanização. O mapa pedológico (Figura 18a) mostra a distribuição das três classes no terreno.

De acordo com a Tabela 18, aproximadamente 68% da área de estudo possui latossolo vermelho, equivalente a 56,92 km². O cambissolo háplico foi a menor classe com 3,95%, seguida da classe de área edificada com 28,37% de ocupação.

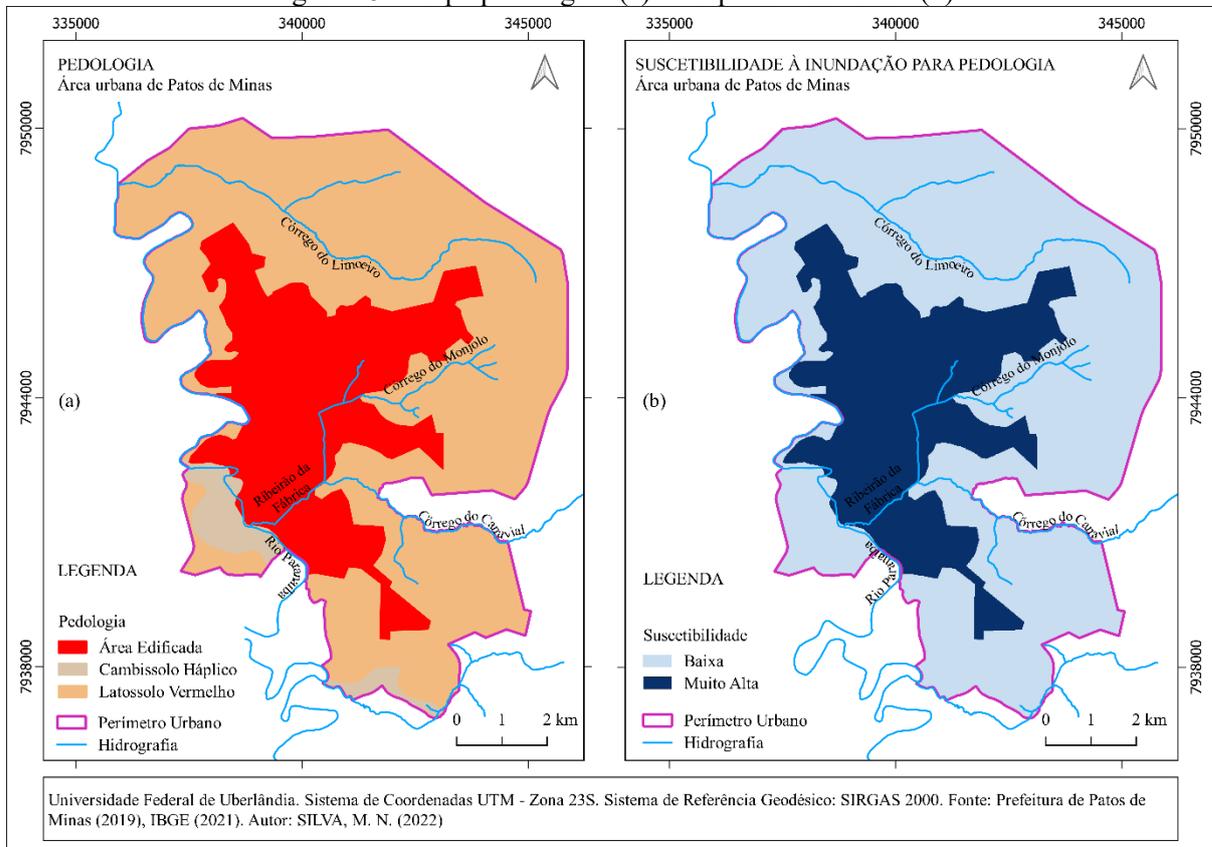
Tabela 18 - Classes do mapa pedológico

Pedologia	Área (km ²)	Área (%)
Área Edificada	23,86	28,37
Cambissolo Háptico	3,33	3,95
Latossolo Vermelho	56,92	67,68
Total	84,1	100

Fonte: A autora.

O mapa intermediário (Figura 18b) resultou em duas classes. Na classe de suscetibilidade baixa foram verificados a presença de elementos como plantações, casas, pastagem, córregos, entre outros, já a segunda classe verificou-se a presença de pequenas áreas de vegetação, loteamentos e construções.

Figura 18 - Mapa pedológico (a) e Mapa intermediário (b)



Fonte: A autora.

O uso e cobertura do solo é outro fator importante na identificação de suscetibilidade à inundação em uma determinada região. No mapa, foram estabelecidas 9 classes, como mostra a Figura 19a.

Visto que a região de estudo se refere a uma área urbanizada, a classe área edificada (Tabela 19) apresentou a maior porcentagem (40,9%), em seguida a classe de pastagem (25,72%), cultura temporária (11,78%) e vegetação (11,33%). O restante das classes correspondeu a valores inferiores a 5% como a água que apresentou a menor porcentagem com 1%.

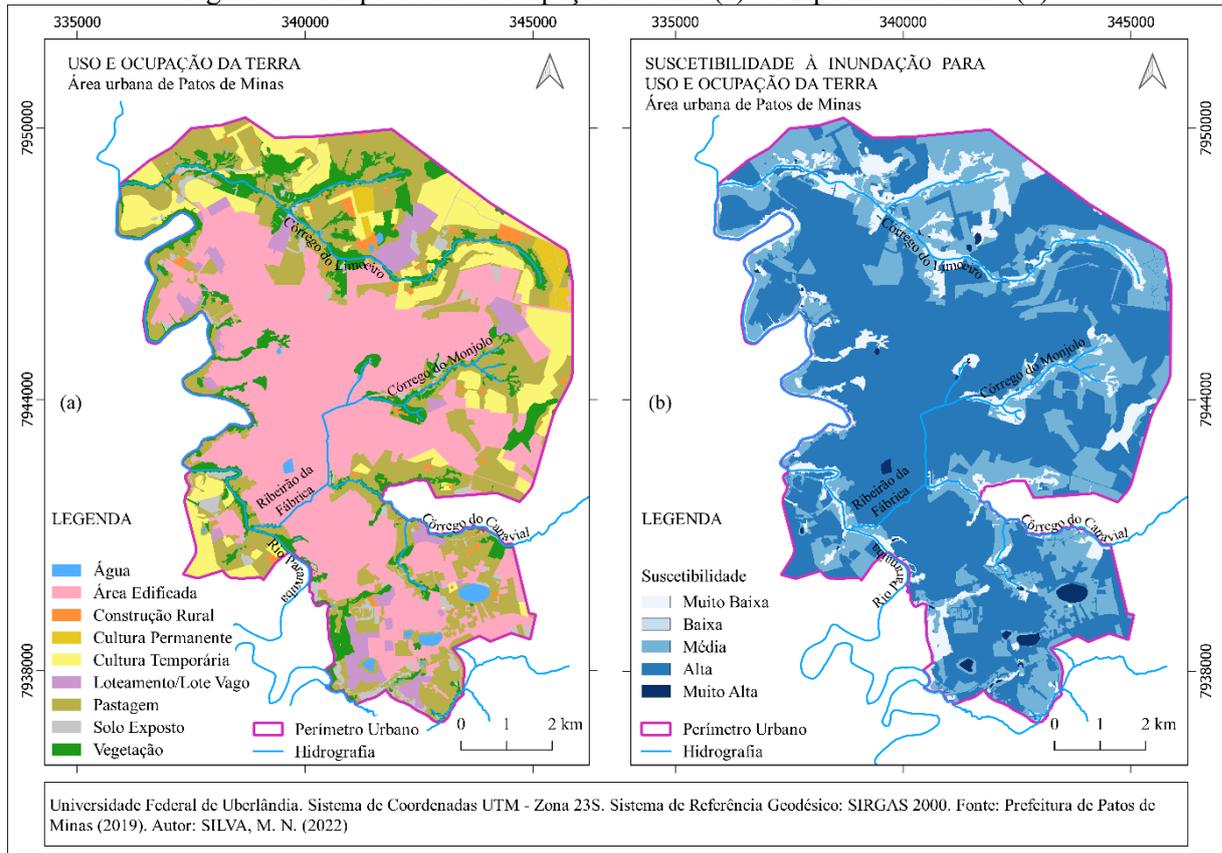
Tabela 19 - Classes do mapa de uso e ocupação da terra

Uso e ocupação da terra	Área (km²)	Área (%)
Água	0,84	1,00
Área Edificada	34,40	40,90
Construção Rural	0,98	1,17
Cultura Permanente	0,97	1,15
Cultura Temporária	9,91	11,78
Loteamento/Lote Vago	3,50	4,16
Pastagem	21,63	25,72
Solo Exposto	2,34	2,79
Vegetação	9,53	11,33
Total	84,1	100

Fonte: A autora.

O mapa intermediário resultou em 5 classes (Figura 19b). Nota-se uma maior ocorrência da classe de alta suscetibilidade envolvendo principalmente a região edificada, área essa, que apresenta superfície impermeável e determinante para o aumento de escoamento superficial.

Figura 19 - Mapa de uso e ocupação da terra (a) e Mapa intermediário (b)



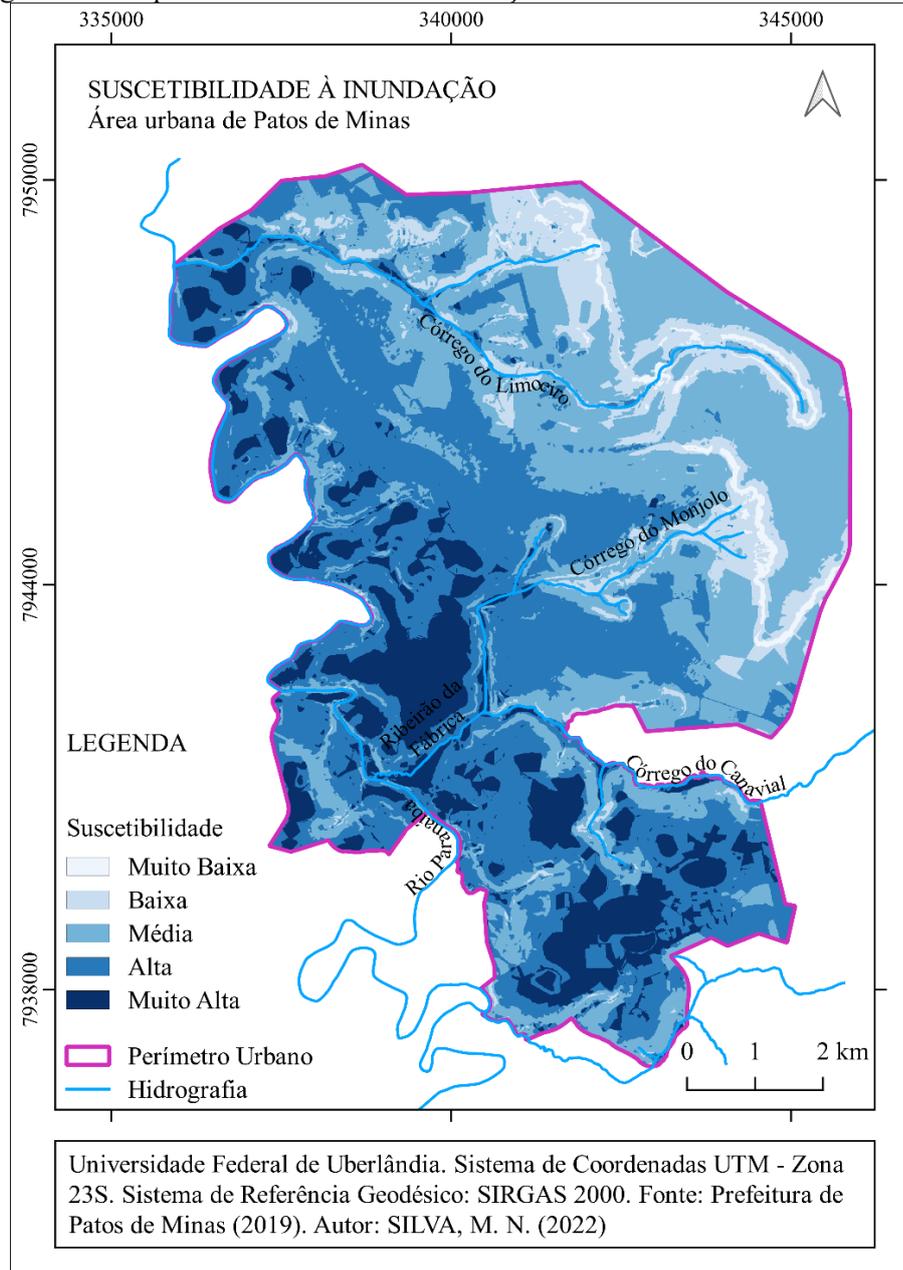
Fonte: A autora.

5.3 Mapa de suscetibilidade à inundação na área urbana de Patos de Minas

Após a reclassificação dos fatores quanto a suscetibilidade, foi dado início ao mapeamento final. Os mapas intermediários foram organizados em ordem de importância de acordo com a escala de comparadores do método AHP. Posteriormente foram inseridos na matriz de comparação pareada para determinação dos pesos.

Os pesos obtidos foram multiplicados por seus respectivos fatores e a soma final da equação resultou no mapa de suscetibilidade à inundação apresentado na Figura 20.

Figura 20 - Mapa de suscetibilidade à inundação na área urbana de Patos de Minas



Fonte: A autora.

Na Tabela 20 estão presentes as áreas e porcentagens de ocupação das classes de suscetibilidade. Observou-se que a Alta suscetibilidade a inundação representou a maior proporção (39,27%), enquanto a menor representatividade se deu a suscetibilidade Muito Baixa (1,48%).

Nas regiões classificadas com suscetibilidade Muito Alta (13,73%) foram encontradas áreas planas com baixa declividade (0 a 3 %) e baixa altitude (775 a 870 metros). Nessas regiões também se verificou uma variedade de classes do uso e ocupação do solo como: áreas de pastagem; cultura temporária; vegetação; água; loteamentos/lotes vagos e área edificada.

Tabela 20 - Classes do mapa de suscetibilidade à inundação

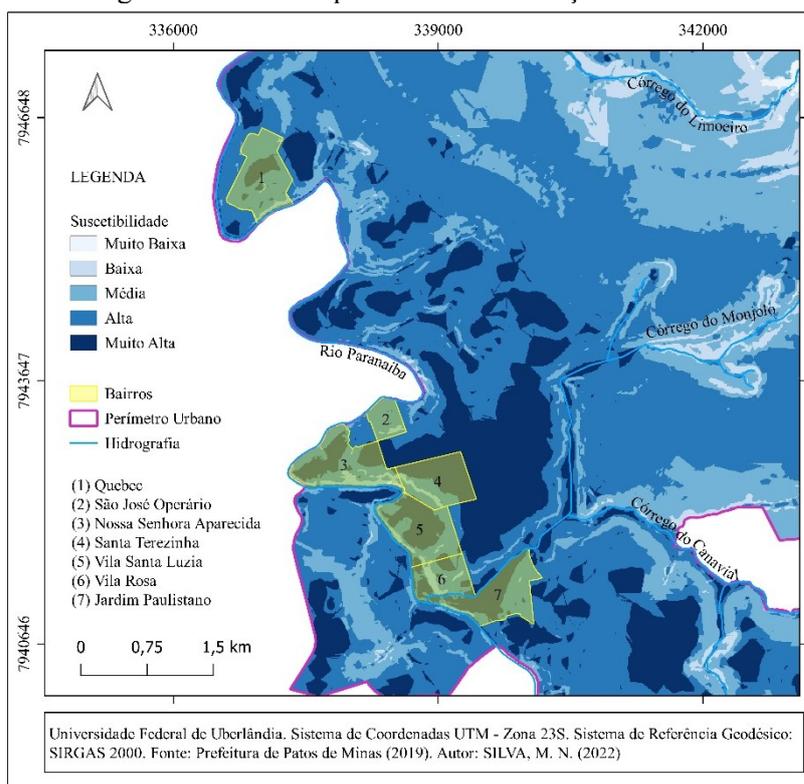
Suscetibilidade	Área (km ²)	Área (%)
Muito Baixa	1,24	1,48
Baixa	8,23	9,79
Média	30,05	35,73
Alta	33,03	39,27
Muito Alta	11,55	13,73
Total	84,1	100

Fonte: A autora.

O histórico de inundações vivenciado pela área urbana de Patos de Minas coincidiu com as classes representadas pelo mapa.

Em um dos registros de ocorrências a inundações, Figueira (2022) aponta sete bairros que sofreram esse evento em janeiro de 2022 sendo eles: Jardim Paulistano; Nossa Senhora Aparecida; Quebec; Vila Santa Luzia; Santa Terezinha; São José Operário e Vila Rosa. Nessas áreas, o mapa apresentou suscetibilidade Muito Alta com exceção ao bairro São José Operário com suscetibilidade Alta (Figura 21).

Figura 21 - Bairros que sofreram inundações em 2022



Fonte: A autora.

A classe Muito Alta do mapa também foi compatível com a pesquisa de Nogueira (2017) que identificou áreas com suscetibilidade muito alta nas margens do Ribeirão da Fábrica, do Córrego do Monjolo e regiões próximas ao Córrego Canavial.

Nas imagens da Figura 22 e Figura 23 mostram trechos em que houve o transbordamento do Córrego do Monjolo em Patos de Minas.

Figura 22 - Córrego do Monjolo - 2019



Fonte: Rocha (2019).

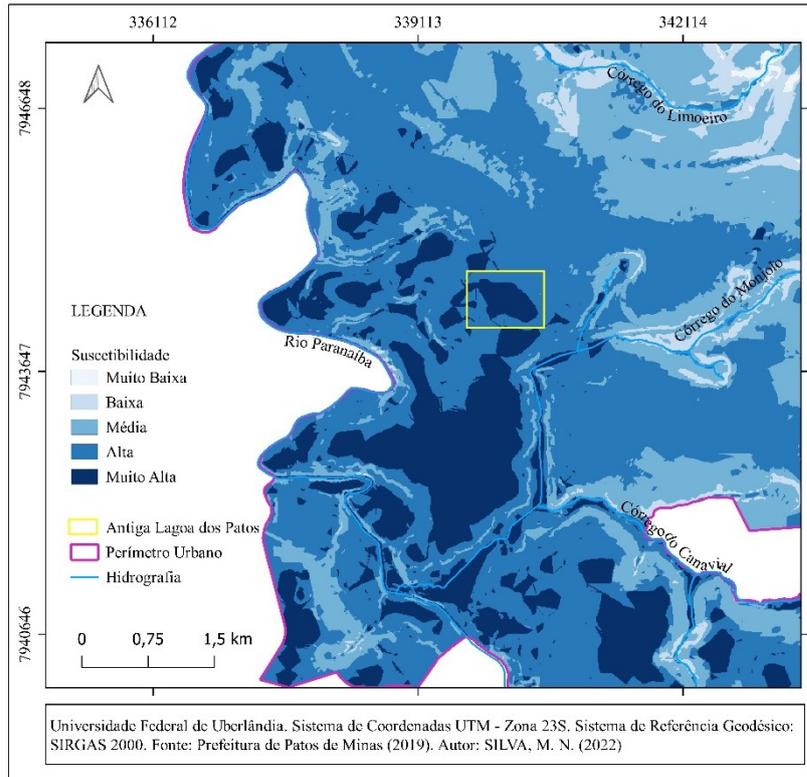
Figura 23 - Córrego do Monjolo - 2022



Fonte: Figueira (2022).

Regiões afastadas das margens dos cursos d'água que também apresentaram suscetibilidade Muito Alta são áreas com registros de alagamentos. Silva (2019) descreveu uma dessas regiões “A região sul é caracterizada pela presença de lagoas sazonais, que praticamente desaparecem nas épocas de seca, e ressurgem na época de chuvas como imensas poças”. No mapa (Figura 20), na região mais ao sul, é possível notar áreas com suscetibilidade muito alta descrita pela autora. Segundo a mesma, a antiga Lagoa dos Patos também é outro ponto que ocorrem alagamentos em épocas de chuvas (Figura 24) e (Figura 25).

Figura 24 - Região onde se encontrava a antiga Lagoa dos Patos



Fonte: A autora.

Figura 25 - Área alagada na antiga Lagoa dos Patos, ao lado esquerdo se encontra hoje o shopping da cidade



Fonte: Autor desconhecido apud Silva (2019).

6 CONCLUSÃO

A área urbana de Patos de Minas é caracterizada por relevos planos a montanhosos com altitudes que variam de 775 a 1079. Nas regiões destinadas à expansão urbana, mas que ainda não foram construídas, encontra-se o uso de pastagem, como também, o cultivo de culturas

temporárias e permanentes. De acordo com os mapas temáticos, as áreas que apresentaram classe Muito Alta e Alta suscetibilidade à inundação foram resultados da combinação de baixas altitudes (775 a 870), relevos planos e superfícies impermeáveis.

As bacias analisadas apresentaram em sua morfometria, forma alongada e sem tendência a inundações, mas por fazerem parte da área urbanizada, a impermeabilidade do solo e a edificação de áreas de várzea influencia na dinâmica hidrológica dos canais e no aumento das ocorrências de eventos de inundações sobre a região.

Através dos estudos das características do meio físico e antrópico das bacias hidrográficas auxiliados com as técnicas de geoprocessamento foi possível mapear e identificar áreas suscetíveis a inundação. A aplicação do método AHP mostrou ser eficaz para esta pesquisa. Considerando que o mesmo é influenciado pelas escolhas do analisador, os resultados podem apresentar realidades distintas.

O mapeamento das áreas com suscetibilidade a inundação apresenta informações importantes que permitem conhecer os pontos críticos do território. As regiões com suscetibilidade muito alta, necessitam de prioridade para a criação de novas ações e programas de gestão ambiental e urbano. Recomenda-se a instalação de sistemas de drenagem eficientes, a manutenção e limpeza dos mesmos, a criação de projetos que priorizem a construção de áreas mais permeáveis e sistemas de armazenamento com a reutilização da água precipitada.

A implantação de programas de educação ambiental, conservação e restauração das áreas de preservação permanente, criação de um sistema de alerta de risco à população, e a retirada dos moradores que estão presentes em áreas inundáveis para regiões de segurança também são meios de prevenir e amenizar os problemas advindos de tais eventos.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. Inundação e Enchentes. *In*: TOMINAGA, L.K; SANTORO, J; AMARAL, R. **Desastres naturais, conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, p. 40-53, 2009.
- ANA. **Rede Hidrometeorológica Nacional**. 2022. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa>. Acesso em: set. 2022.
- ATLAS BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS. 1991 a 2012 / Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. 2. ed. rev. ampl. – Florianópolis: CEPED UFSC, 2013. 126 p.
- BRASIL. Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT. **Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios**. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, 2007.
- CAIXETA, A. C. M. **Simulações Computacionais para Estimativa da Influência do Crescimento Urbano na Formação de Zonas Inundáveis Adjacentes ao Córrego do Monjolo, em Patos de Minas, MG**. 2013. 227f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Engenharia Urbana. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.
- CAIXETA, A. C. M.; VLACH, V. R. F. **Dinâmica Urbana: Geografia Política e Geopolítica na Reestruturação da Avenida Fátima Porto, em Patos de Minas/Brasil**. Uberlândia, 2008.
- CAMARA, G.; MEDEIROS, J. S. DE. **Geoprocessamento para Projetos Ambientais**. Introdução ao Geoprocessamento. 1998. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/. Acesso em: abr. 2021.
- CASTRO, A. L. C. DE **GLOSSÁRIO DE DEFESA CIVIL ESTUDOS DE RISCOS E MEDICINA DE DESASTRES**. 5. ed. Brasília: Secretaria Nacional de Defesa Civil - Sedec, 2012. Disponível em: <https://www.bombeiros.go.gov.br/wp-content/uploads/2012/06/16-Glossario-de-Defesa-Civil-Estudo-de-Risco-e-Medicina-de-Desastres.pdf>. Acesso em: abr. 2021.
- CASTRO, A. L. C. DE. **MANUAL DE DESASTRES: DESASTRES NATURAIS**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, v. 1, 2003.
- CHRISTOFOLETTI, A. A análise de bacias hidrográficas. *In*: CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. cap. 4, p. 102-127. Disponível em: <https://geojurista.files.wordpress.com/2014/04/aula002.pdf> Acesso em: mar. 2021.
- COLLISCHONN, W; FERNANDO, D. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. Porto Alegre: Cd.G.Abrh, 2015. 336p.
- DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte. **Visualizador de Informações Geográficas**. Disponível em: <http://servicos.dnit.gov.br/vgeo/> Acesso em: 14 maio 2021.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Brasília, 2018.

FIGUEIRA, L. **Chuva em Patos de Minas: número de famílias realocadas chega a 89 e mais pontos são interditados**. 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/triangulo-mineiro/>. Acesso em: dez. 2022.

FLORENZANO, T. G. Geotecnologias na Geografia aplicada: difusão e acesso. *Geography Department, University Of Sao Paulo*, [S.l.], p. 24-29, 2005. Universidade de São Paulo, Agencia USP de Gestão da Informação Acadêmica (AGUIA). <http://dx.doi.org/10.7154/rdg.2005.0017.0002>.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

G1 TRIÂNGULO MINEIRO. **Muro desaba e córrego transborda durante chuva em Patos de Minas**. 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/>. Acesso em: jan. 2023.

GARCIA, B.; DOURADO, C.; AVILA, A. M. H. de. Physiographic analysis of the Atibaia River Basin and flood susceptibility mapping in the municipality of Campinas-SP, Brazil. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science*, [S.L.], v. 17, n. 3, p. 1-14, 31 maio 2022. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2832>.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M. **Considerações sobre as inundações no Brasil**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2005, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: ABRH, 2005.

GOERL, R. F.; MICHEL, G. P.; KOBIYAMA, M. MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A INUNDAÇÃO COM O MODELO HAND E ANÁLISE DO SEU DESEMPENHO EM DIFERENTES RESOLUÇÕES ESPACIAIS. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 69, n. 1, jan. 2017.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: Uma Atualização de Base e Conceitos**. Rio de Janeiro: Berthand Brasil, 1994.

GUERRA, A.T. **Dicionário Geológico Geomorfológico**. 8. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993. 439p.

GUIMARÃES, R. C. Bacia Hidrográfica. In: SHAIDIAN, S.; GUIMARÃES, C. R.; RODRIGUES, C. M. (editores). **Hidrologia Agrícola**. ISBN: 978-989-97060-4-0. ECT, ICAAM, Universidade de Évora, 2012. cap.2, p. 5–22. Disponível em: rdpc.uevora.pt/bitstream/10174/7988/1/Capitulo_2_Bacia_Hidrográfica.pdf Acesso em: mar. 2021.

HAMMAMI, S. et al. Application of the GIS based multi-criteria decision analysis and analytical hierarchy process (AHP) in the flood susceptibility mapping (Tunisia). *Arabian Journal of Geosciences*, [S.L.], v. 12, n. 21, p. 1-16, 25 out. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-019-4754-9>.

HIDROWEB. **Séries Históricas de Estações**. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: out. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Cidades:** Patos de Minas. 2021a. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/patos-de-minas/panorama> Acesso em: nov. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Downloads.** 2021b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: out. 2022.

INPE. **Introdução ao Geoprocessamento.** 2006. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html. Acesso em: abr. 2021.

KOBIYAMA, M. et al. **PREVENÇÃO DE DESASTRES NATURAIS: CONCEITOS BÁSICOS.** Florianópolis: *Organic Trading*, 2006. Disponível em: [http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/Livro%20\(Prevencao%20de%20Desastres%20Naturais\).pdf](http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/Livro%20(Prevencao%20de%20Desastres%20Naturais).pdf) Acesso em: abr. 2021.

LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas.** Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2008. 253p.

MAGALHÃES, I. A. L. et al. Metodologias Distintas para Mapeamento das Áreas de Risco de Inundação em Guaçuí, ES, Utilizando Sistemas de Informações Geográficas. *In:* SANTOS, A. R. et al. **Geotecnologias Aplicadas aos Recursos Florestais.** Alegre: Cca-Ufes, 2012. 114 – 125 p. Disponível em: <http://www.mundogeomatica.com.br/Livros/Geotecnologias%20aplicadas%20aos%20recursos%20florestais.pdf>. Acesso em: maio 2021.

MARINS, C. S. et al. O USO DO MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (AHP) NA TOMADA DE DECISÕES GERENCIAIS – UM ESTUDO DE CASO. **Xli Sbpo 2009 - Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento**, Rio de Janeiro. 2009.

MELLO, A. de O. **Patos de Minas, meu bem querer.** 3 ed. Patos de Minas: Edição da Prefeitura Municipal de Patos de Minas Semed, 2008. 416 p.

MIOTO, C. L. Morfometria de Bacias Hidrográficas Através de SIGs Livres e Gratuitos. **Anuário do Instituto de Geociências - Ufrj**, Rio de Janeiro, v. 37, n. 2, p. 16-22, set. 2014.

NOGUEIRA, T. P. N. **MAPEAMENTO DA SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA FÁBRICA, MUNICÍPIO DE PATOS DE MINAS - MG.** 2017. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

PATOS DE MINAS. Prefeitura de Patos de Minas. **Lei complementar nº 320**, de 31 de dezembro de 2008. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/camara/mg/patos-de-minas>. Acesso em: dez. 2022.

PLANET. **BASEMAPS VIEWER.** 2021. Disponível em: <https://www.planet.com/>. Acesso em: set. 2022.

PREFEITURA DE PATOS DE MINAS. **Canalização do Córrego do Monjolo será retomada**. 2022. Disponível em: <http://patosdeminas.mg.gov.br/home/>. Acesso em: jan. 2023.

ROCHA, M. **Chuva volta a deixar Fátima Porto coberta d'água e vias ficam alagadas em Patos de Minas; veja**. 2019. Disponível em: <https://patoshoje.com.br/>. Acesso em: dez. 2022.

ROSA, R. **Introdução ao geoprocessamento**. Uberlândia: Universidade Federal De Uberlândia, jun. 2013. 142p.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, Uberlândia, p.81-90, 2005.

SANTOS, A. R.; LOUZADA, F. L. R. O.; EUGENIO, F. C. Elaborando um mapeamento de riscos a inundação. In: SANTOS, A. R.; LOUZADA, F. L. R. O.; EUGENIO, F. C. **ArcGis 9.3 Total: Aplicações para dados espaciais**. Alegre: Cca-ufes, 2010. p. 116-134. Disponível em: http://www.mundogeomatica.com.br/Livros/Livro_ArcGIS%209.3_Aplicacoes_Para_Dados_Espaciais/Livro_ArcGIS93_Total.pdf Acesso em: maio 2021.

SILVA, B. O. **As margens dos cursos d'água de Patos de Minas – MG: estudo da relação entre a configuração espacial e a qualidade ambiental urbana**. 2019. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

SILVA, D. M. R. **Aplicação do Método AHP para Avaliação de Projetos Industriais**. 2007. 128 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pósgraduação em Engenharia Industrial da Puc-Rio., Pontifca Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

SILVEIRA, A. L.L. Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 1993.

SOUZA, C. R. de G. Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 1-17, jan - jun. 2005.

TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Orgs.), **Desastres naturais, conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, p. 40-53, 2009.

TORRES, F. T. P.; MACHADO, P. J. O. Bacia hidrográfica. In: TORRES, F. T. P.; MACHADO, P. J. O. **Introdução à hidrogeografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2013. cap. 4, p. 38-45.

TÔSTO, S. G. et al. **Geotecnologias e Geoinformação: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 248 p.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: Revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos RBRH**, v. 2, n.1, jan/jun 1997, p. 135-152.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Inundações Urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades, 2005. 269 p. Disponível em: <https://www.semarh.se.gov.br/wp-content/uploads/2017/02/gestaodeaguaspluviais.pdf>. Acesso em: abr. 2021.

TUCCI, C. E. M. **INUNDAÇÕES URBANAS**. 2003. Disponível em: <https://semarh.se.gov.br/wp-content/uploads/2017/02/drenagem1.pdf>. Acesso em: abr. 2021.

TV INTEGRAÇÃO E G1 TRIÂNGULO E ALTO PARANAÍBA. **Chuva em Patos de Minas: número de desalojados e desabrigados passa de 300 e Prefeitura cria Central de Atendimento Social**. 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/>. Acesso em: dez. 2022.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975, 245p.