

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

CHRISTIE MIO ISHIZUKA

**MORFOMETRIA E USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA MICROBACIA DO
CÓRREGO CANELA, SÃO JOSÉ DO RIO PRETO – SP**

**Ilha Solteira
2023**

CHRISTIE MIO ISHIZUKA

**MORFOMETRIA E USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA MICROBACIA DO
CÓRREGO CANELA, SÃO JOSÉ DO RIO PRETO - SP**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia do Câmpus de Ilha Solteira (FEIS), da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof.Dr. César Gustavo da Rocha Lima

ILHA SOLTEIRA - SP

2023

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

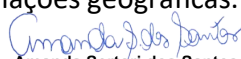
Ishizuka, Christie Mio.
179m Morfometria e uso e ocupação do solo da microbacia do córrego Canela, São José do Rio Preto - SP / Christie Mio Ishizuka. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023
50 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) -
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2023

Orientador: César Gustavo da Rocha Lima

Inclui bibliografia

1. Sistemas de informações geográficas. 2. Urbanização. 3. Inundações.


Amanda Sertori dos Santos
Bibliotecária - CRB/8-9061
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao
Usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

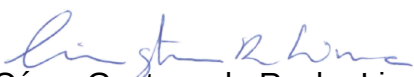
FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno: **CHRISTIE MIO ISHIZUKA**

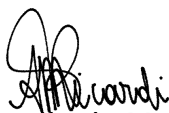
Título: **MORFOMETRIA E USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA MICROBACIA DO
CÓRREGO CANELA, SÃO JOSÉ DO RIO PRETO – SP**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Civil, junto ao Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Ilha Solteira

COMISSÃO EXAMINADORA


Prof. Dr. César Gustavo da Rocha Lima

UNESP – Campus de Ilha Solteira (Orientador)


Msc. Amanda de Moraes Ricardi

Mestre em Engenharia Civil - PPGEC (FEIS/UNESP)


Olavo Tozete Tercini

Mestrando em Engenharia Civil - PPGEC (FEIS/UNESP)

Ilha Solteira

21/12/2023

RESUMO

A expansão das zonas urbanas nas bacias hidrográficas tem um impacto significativo no ciclo hidrológico devido à impermeabilização da área. Isso resulta em um aumento do escoamento superficial, uma redução na infiltração e, por conseguinte, um aumento na vulnerabilidade da região a eventos hidrológicos extremos. O propósito deste estudo é avaliar a vulnerabilidade natural da bacia hidrográfica do Córrego Canela às inundações. Isso é feito por meio da análise de parâmetros morfométricos e do uso e ocupação do solo, visando fornecer subsídios para o planejamento e a gestão do espaço, especialmente considerando que a área está passando por um processo de expansão urbana. A análise morfométrica foi realizada utilizando o software ArcMap 10.3 e imagens de modelo digital de elevação (MDE) coletadas do sistema ALOS PALSAR com resolução espacial de 12,5 metros. Além disso, a análise do uso e ocupação do solo foi conduzida através de classificação e dados disponibilizados no projeto MapBiomias em formato matricial, com uma resolução de pixel de 30 metros, entre os anos de 1985, 1990, 2000, 2010 e 2022. Visto que quatro dos seis parâmetros morfométricos analisados indicam baixa susceptibilidade a enchentes, fica evidente que a microbacia não se configura como uma área naturalmente inundável. No entanto, a análise do uso e ocupação do solo revela um notável crescimento urbano, com um aumento de 72% na área urbanizada entre 1985 e 2022, influenciado pelo significativo crescimento populacional. Assim, as análises realizadas demonstram que a área estudada possui alta suscetibilidade a inundações devido à modificação do uso e ocupação do solo e a impermeabilização da área. Os resultados de índice morfométricos também indicam que a linearidade do canal principal aumenta o risco de enchentes provocados pela urbanização, enquanto a topografia próxima à foz do Córrego Canela acelera o escoamento e gera picos de vazão a jusante, intensificando o risco de inundações nas proximidades do exutório da bacia.

Palavras-chave: Sistemas de informações geográficas, urbanização, inundações.

ABSTRACT

The expansion of urban areas in hydrographic basins has a significant impact on the hydrological cycle due to the impermeabilization of the area. This results in increased surface runoff, reduced infiltration, and, consequently, an increased vulnerability to extreme hydrological events in the region. The purpose of this study is to assess the natural vulnerability of the Canela stream watershed to floods. This is done through the analysis of morphometric parameters and land use, aiming to provide support for spatial planning and management, especially considering that the area is undergoing an urban expansion process. The morphometric analysis was conducted using ArcMap 10.3 software and digital elevation model (DEM) images collected from system ALOS PALSAR with a spatial resolution of 12.5 meters. Furthermore, the analysis of land use and land cover was carried out through classification and data provided by the BioMapas project in raster format, with a pixel resolution of 30 meters, for the years 1985, 1990, 2000, 2010 and 2022. Given that four out of the six morphometric parameters analyzed indicate low susceptibility to floods, it is evident that the microbasin does not qualify as a naturally flood-prone area. However, the analysis of land use and occupation reveals a notable urban growth, with a 72% increase in urbanized areas between 1985 and 2022, influenced by significant population growth. Thus, the conducted analyses demonstrate that the studied area has a high susceptibility to floods due to changes in land use and occupation and area impermeabilization. Morphometric index results also indicate that the linearity of the main channel increases the risk of floods caused by urbanization, while the topography near the mouth of the Canela stream accelerates runoff, generating downstream flow peaks and intensifying the risk of flooding in the vicinity of the basin outlet.

Keywords: Geographic information system, urbanization, flood.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe que me proporcionou apoio inabalável e educação que serviram como o alicerce fundamental de toda a minha vida.

Ao meu professor orientador César Gustavo da Rocha Lima por sua disponibilidade em oferecer suporte e por compartilhar seu extenso conhecimento.

À Amanda e Olavo, que generosamente me ofereceram apoio e orientação durante todo o processo de trabalho.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Civil que contribuíram para a minha formação como pessoa e profissional.

A todos meus amigos, em especial Leilane, Maria Júlia, Maria Eduarda, Vitor, Thammy, Matheus, Augusto, Felipe, e Luana por todo apoio, companheirismo e pelos preciosos momentos compartilhados ao longo da graduação, que deixarão uma marca indelével em toda a minha vida. Cada um desempenhou papéis fundamentais no meu desenvolvimento acadêmico e pessoal.

À Deus, pela sabedoria e discernimento que iluminaram as escolhas que fiz ao longo da minha jornada acadêmica.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Efeitos da impermeabilização.....	14
Figura 2 – Ocorrência de enchente, inundação e alagamento	15
Figura 3 – Esquema de bacia hidrográfica.	17
Figura 4 – Influência da forma da bacia no seu comportamento hidrológico.....	18
Figura 5 – Índice de sinuosidade respectivos formatos de canais.....	20
Figura 6 – Localização da área de estudo.....	29
Figura 7 –Avenida Alberto Andaló alagada no ano de 1980.	30
Figura 8 – Avenida Alberto Andaló alagada no ano de 2012.	31
Figura 9 – Avenida Alberto Andaló alagada no ano de 2015.	31
Figura 10 – Caracterização da microbacia do córrego Canela.....	32
Figura 11 – Mapa hipsométrico da microbacia do córrego Canela.....	33
Figura 12 – Declividade da microbacia do córrego Canela	33
Figura 13 – Mapa de uso e ocupação do solo da Microbacia de Córrego Canela. ..	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	EFEITOS DO CRESCIMENTO URBANO DESORDENADO	14
2.2	ALAGAMENTOS, ENCHENTES E INUNDAÇÃO	15
2.3	BACIA HIDROGRÁFICA	16
2.3.1	Sub-bacias e microbacias.....	17
2.4	ANÁLISE MORFOMÉTRICA.....	17
2.4.1	Índice de Sinuosidade (Is).....	19
2.4.2	Índice de Circularidade (Ic).....	20
2.4.3	Coeficiente de Compacidade (Kc).....	21
2.4.4	Fator Forma (F)	21
2.4.5	Densidade de Drenagem (Dd).....	22
2.4.6	Razão de Relevo (Rr).....	23
2.5	ESTUDO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	23
2.6	SENSORIAMENTO REMOTO	24
2.7	SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIGS)	24
2.8	ESTUDOS PREEXISTENTES	25
3	OBJETIVO	27
3.1	OBJETIVO GERAL	27
3.2	OBJETIVO ESPECÍFICO	27
4	METODOLOGIA	28
4.1	PROCESSAMENTO DE DADOS ESPACIAIS.....	28
4.2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	28
4.3	ANÁLISE MORFOMÉTRICA.....	34

4.4	ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	35
5	RESULTADOS	37
5.1	ANÁLISE MORFOMÉTRICA.....	37
5.2	ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	40
6	CONCLUSÃO	44
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

1 INTRODUÇÃO

Os recursos naturais e o meio ambiente passam por contínuas mudanças em resposta à evolução natural e às atividades humanas. Essa relação pode ser evidenciada nas inundações, as quais são eventos naturais provocados pelo extravasamento das águas do leito menor de um rio. No entanto, são agravados pela retirada de cobertura vegetal e a impermeabilização do solo decorrente da atividade humana (ENOMOTO, 2004).

Assim, os eventos de inundação em áreas urbanas são associados ao crescimento desordenado das cidades devido ao crescimento populacional e à falta de políticas públicas adequadas, sem ponderar as características naturais do meio, levando a diversos problemas sociais e ambientais. (HORA e GOMES, 2009).

De acordo com Amaral e Ribeiro (2009), a intensidade e a frequência das inundações em uma área variam conforme a distribuição espacial dos elementos da paisagem (como precipitação, permeabilidade e tipo de solo), bem como com as características morfométricas e morfológicas das bacias hidrográficas.

Para compreender este complexo de inter-relacionamento dos fenômenos que causam as mudanças, é necessário observá-los em diferentes escalas temporais. Por meio de satélites, é possível coletar os dados necessários para monitorar e modelar estas mudanças de maneira eficaz (SAUSEN, 2008).

A partir de dados georreferenciados, é possível realizar um estudo de mudança de uso e cobertura do solo, e uma análise morfométrica em uma bacia hidrográfica, o que permite a identificação de áreas suscetíveis à desastres naturais e a dinâmica da evolução natural da paisagem.

Diante disso, o presente estudo objetiva estudar a microbacia do Córrego Canela da região de São José do Rio Preto – SP por meio da análise morfométrica e a análise de mudança de uso e cobertura do solo utilizando-se de geotecnologias. Foi analisado o avanço da impermeabilização do solo, bem como a suscetibilidade a eventos de enchentes nos arredores do córrego afim de determinar os indicadores que possam prejudicar a região devido à urbanização avançada.

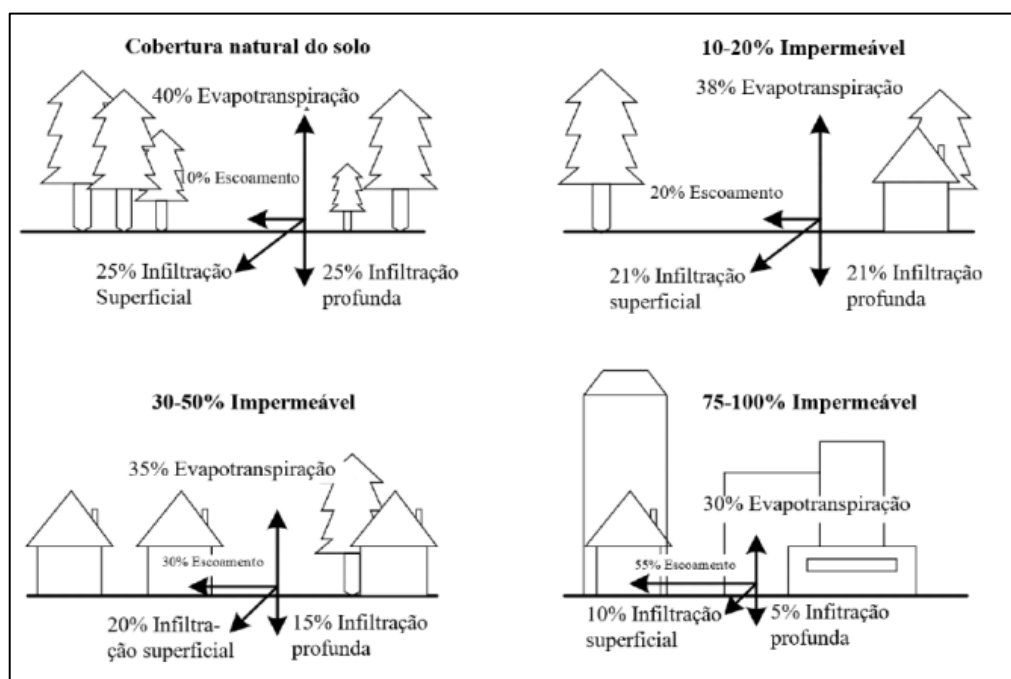
2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 EFEITOS DO CRESCIMENTO URBANO DESORDENADO

A urbanização é um fenômeno que cresceu de maneira progressiva em todo o mundo nas últimas décadas. O que se destacou no Brasil foi a velocidade do processo de urbanização. As cidades brasileiras têm sofrido um processo de urbanização acelerado e desordenado há décadas. De acordo com o IBGE (2007), em 1940, cerca de 31,24% da população brasileira vivia em áreas urbanas. Já em 2000, esse número alcançou 81,23%, evidenciando a elevada taxa de crescimento da ocupação urbana.

Esse tipo de crescimento acompanhado a falta de planejamento provoca inúmeros problemas socioambientais. De acordo com Santos *et al.* (2017), a falta de planejamento urbano é uma das principais causas do processo desordenado de urbanização. A impermeabilização de áreas é um exemplo desse problema, visto que ao pavimentar e concretar o solo, a capacidade de absorção de água é reduzida conforme apresentada na Figura 1. Como consequência, eventos de enchentes e inundação se intensificam.

Figura 1 – Efeitos da impermeabilização



Fonte: Karamouz *et al* (2010)

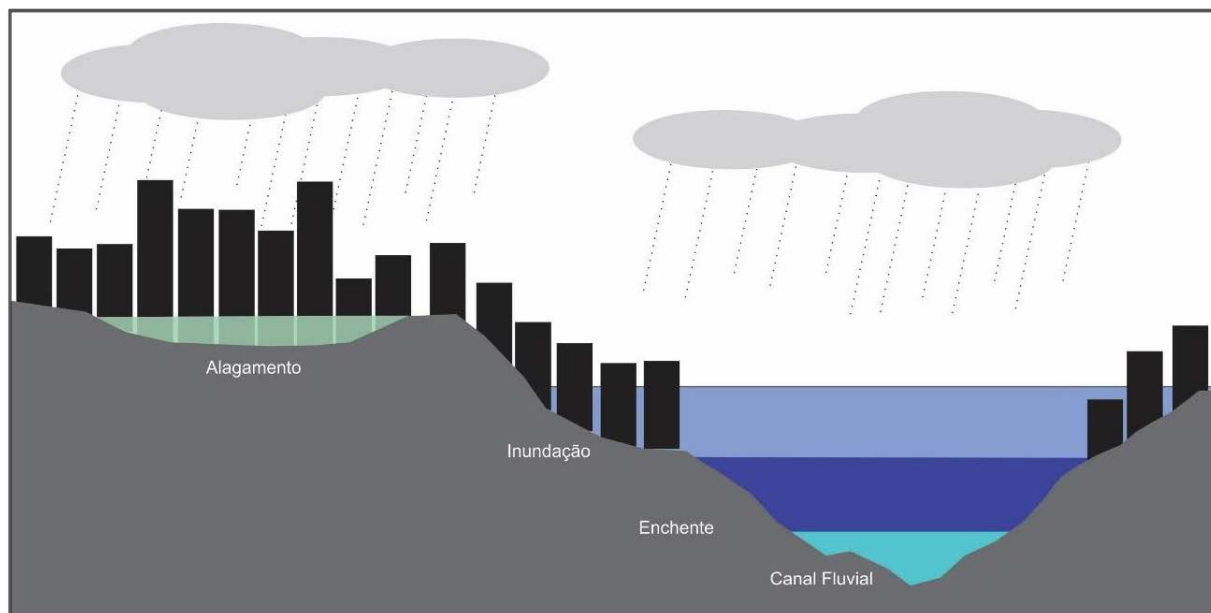
Assim, a elevada impermeabilização do solo, causada pela construção de edifícios, ruas, calçadas, estacionamentos e outras estruturas que impedem a infiltração da água da chuva faz com que a água escoe rapidamente pela superfície, sobrecarregando os sistemas de drenagem e os cursos d'água. Esses fatores contribuem para alterar o ciclo hidrológico e aumentar a vulnerabilidade das áreas urbanas aos eventos extremos de chuva.

2.2 ALAGAMENTOS, ENCHENTES E INUNDAÇÃO

Os conceitos de alagamentos, enchentes e inundações são fenômenos aparentemente semelhantes, mas possuem definições distintas.

De acordo com Costa (2019), as enchentes e inundações são eventos atrelados a dinâmica do canal fluvial. Já os alagamentos, costumam acontecer nas áreas mais planas do relevo (Figura 2). No entanto, as ações provocadas pelo homem fazem com que o fenômeno de alagamentos aconteça independente do compartimento do relevo. Além disso, alagamentos podem ser provocados devido à problemas no sistema de drenagem urbana, podendo ou não ter relação com processos naturais de origem fluvial.

Figura 2 – Ocorrência de enchente, inundação e alagamento



Fonte: COSTA (2019)

De acordo com Perez e Galvani (2007), existe uma distinção conceitual entre os termos enchentes e inundações. O primeiro termo refere-se a uma ocorrência natural, que normalmente não afeta diretamente a população, pois não atinge o

transbordamento das águas. Por outro lado, as inundações são decorrentes de modificações no uso do solo e podem provocar danos de grandes proporções a população devido ao transbordamento das águas de um curso de água.

Esses fenômenos são intensificados quando a ocupação da bacia se dá de forma desordenada, provocando a impermeabilização do solo. Por meio das construções, terraplanagem e aterros, a impermeabilização e a retificação das formas do relevo permitem alterar aspectos pontuais do ciclo hidrológico, como a quantidade de água infiltrada que pode tornar menor do que a água escoada na superfície da bacia (COSTA, 2018).

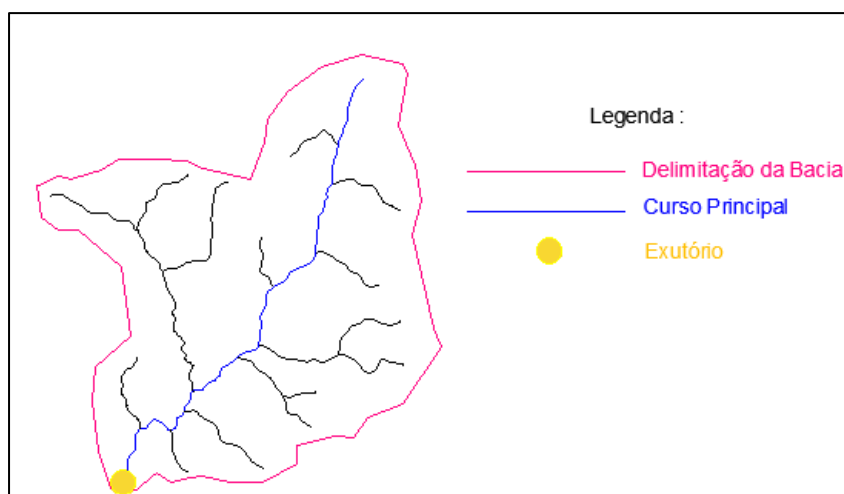
2.3 BACIA HIDROGRÁFICA

Do ponto de vista da engenharia hidrológica, bacia hidrográfica é uma área definida topograficamente, drenada por sistema de cursos d'água tal que toda vazão efluente seja descarregada através de um exutório (COLLISCHONN, 2013).

Já no conceito geomorfológico, Lima e Zakia (2000) definem as bacias hidrográficas como sistemas abertos, que recebem energia através de agentes naturais e perdem energia através do deflúvio, e, desta forma, mesmo quando perturbadas por ações antrópicas, encontram-se em equilíbrio dinâmico. Assim, qualquer modificação no fluxo da energia ou na forma do sistema, acarretará em uma mudança compensatória que tende a minimizar o efeito da modificação e restaurar o estado de equilíbrio dinâmico.

De acordo com Tucci e Silveira (2001), a bacia hidrográfica é uma unidade fundamental da hidrologia que consiste em uma área geográfica delimitada por divisores de água que contribuem para um único ponto de saída. Essa área é caracterizada em relação a uma seção do rio principal, ou seja, pelo sistema fluvial principal. Considerando essa seção do rio, a bacia hidrográfica é definida como a área que contribui por gravidade para o rio principal ou seus afluentes que escoam para a seção principal. A topografia da superfície é o principal fator que determina os limites e as características da bacia hidrográfica, conforme demonstrado na Figura 3.

Figura 3 – Esquema de bacia hidrográfica.



Fonte: Elaborada pela autora

A bacia hidrográfica possui subdivisões: sub-bacia e microbacia, ambos apresentando conceitos diferentes na literatura técnico-científica.

2.3.1 Sub-bacias e microbacias

De acordo com o Faustino (1996), termo “sub-bacia” pode ser definido como área de drenada por curso d’água principal, a qual possui áreas maiores que 100 km² e menores que 700 km².

Para Faustino (1996), a microbacia possui área drenada pela sub-bacia, sendo a sua área inferior a 100 km².

As microbacias são caracterizadas como bacias que detectam maior sensibilidade às alterações na quantidade e qualidade da água do deflúvio, em função de chuvas intensas e ou em função de mudanças no solo (TEODORO *et al.*, 2007).

2.4 ANÁLISE MORFOMÉTRICA

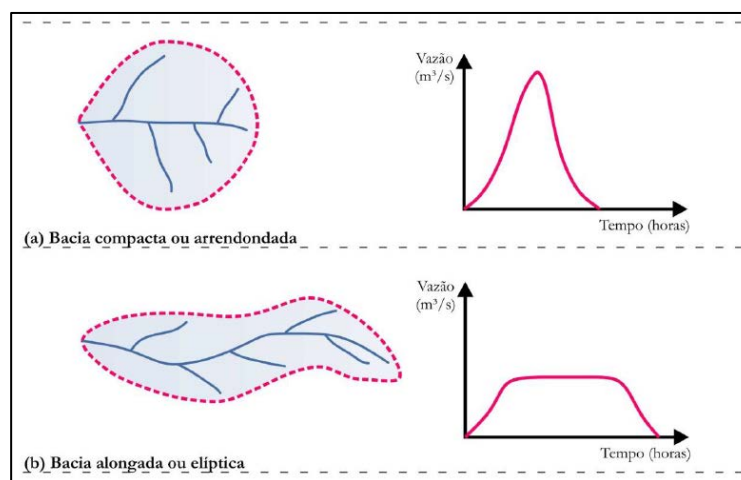
Perucca e Angilieri (2011) destacam que as características morfométricas de uma bacia permitem estimar seu comportamento hidrológico em eventos de inundações bruscas ocasionado por fortes chuvas. Neste sentido, as informações morfométricas sobre bacias hidrográficas devem ser usadas para identificar áreas de perigo (WILFORD *et al.*, 2004).

A morfometria refere-se aos aspectos quantitativos do relevo, tais como altitude, declividade e formas de terreno, o que possibilita aplicações em estudos de avaliação de fragilidade e vulnerabilidade dos ambientes (FLORENZANO, 2008).

De acordo com Christofolletti (1980), a partir dos índices como índice de circularidade e fator forma, é possível determinar o formato das bacias. Sendo classificadas como bacias arredondadas ou alongadas.

A Figura 4 mostra o impacto da forma da bacia em seu comportamento hidrológico através da geometria da bacia hidrográfica e de sua respectiva hidrologia. É possível verificar na bacia circular que toda a água escoada tende a atingir a bacia ao mesmo tempo, resultando em valores de pico que podem levar a inundações na área de análise. Já na bacia alongada, que há escoamento mais distribuído ao longo do tempo, pode resultar em inundações menos frequentes (ÁRTICO, 2013).

Figura 4 – Influência da forma da bacia no seu comportamento hidrológico.



Fonte: Adaptado de Ártico, 2013.

Para realizar a análise de tais aspectos, foram propostos os seguintes índices morfométricos de acordo com literatura científica:

- Índice de Sinuosidade (I_s);
- Índice de Circularidade (I_c);
- Coeficiente de compacidade (K_c);
- Fator forma (F);
- Densidade da drenagem (D_d);
- Razão de relevo (R_r).

2.4.1 Índice de Sinuosidade (I_s)

De acordo com o Alves e Castro (2003), a razão entre o comprimento do canal principal e a distância vetorial entre os pontos extremos do canal define a sinuosidade de canal hidrográfico. Este índice é responsável por quantificar a capacidade de escoamento do canal principal, considerando a relação entre o comprimento real e o comprimento projetado. Quanto maior a sinuosidade, maior será a dificuldade de se atingir o exutório do canal, devido às curvas e meandros que reduzem a velocidade de escoamento. Portanto, a velocidade de escoamento será menor em canais com alta sinuosidade (SANTOS *et al.*, 2004). Esse fator tem implicações importantes para a gestão de recursos hídricos, uma vez que a velocidade de escoamento influencia diretamente a possibilidade de ocorrência de eventos hidrológicos extremos, como enchentes e deslizamentos de terra.

O cálculo do índice de sinuosidade é dado pela equação (1).

$$I_s = \frac{C_{cp}}{D_v} \quad (1)$$

Em que:

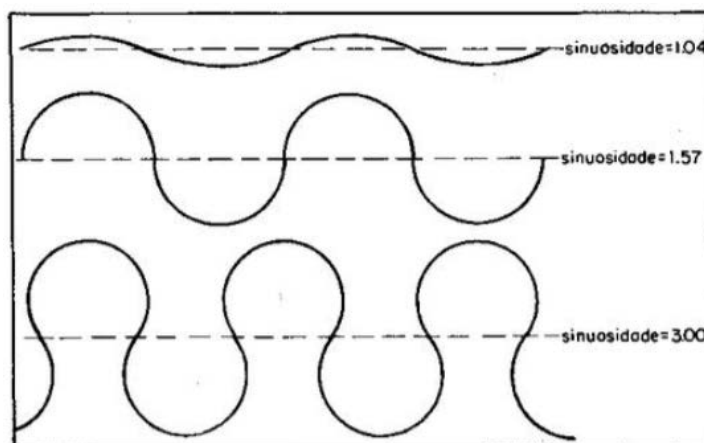
I_s – Índice de sinuosidade, adimensional;

C_{cp} – Comprimento do canal principal em km;

D_v – Distância vetorial entre os pontos extremos do canal principal em km.

Para o Dury (1969), quando o parâmetro em questão apresenta valores inferiores a 1,5, indicam que os canais são retilíneos e possuem uma maior velocidade de propagação de fluxo da bacia. Já os valores iguais ou superiores a 1,5, indicam que os canais tendem a ser sinuosos (Figura 5), ou seja, meandantes com velocidade mais baixa.

Figura 5 – Índice de sinuosidade respectivos formatos de canais



Fonte: Duy (1969)

2.4.2 Índice de Circularidade (I_c)

O índice de circularidade é uma medida que indica o quão circular é a forma de uma bacia. Essa medida varia de 0 a 1, sendo que valores acima de 0,51 indicam uma bacia mais circular e tem escoamento reduzido, ou seja, menor capacidade de infiltração da água pluvial no solo e da evapotranspiração. Já os valores abaixo de 0,51 indicam uma bacia mais alongada que favorece o escoamento. Vale ressaltar que uma bacia hidrográfica com formato circular é mais suscetível a inundações, ao passo que uma bacia com escoamento reduzido pode ter uma capacidade maior de armazenamento de água. a forma da sub-bacia influencia na retenção da água (ALVESS & CASTRO, 2003).

O cálculo do índice de circularidade é dado pela equação (2).

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

Em que:

I_c – Índice de circularidade, adimensional;

A – Área da bacia em km^2 ;

P – Perímetro da bacia em km.

2.4.3 Coeficiente de Compacidade (Kc)

O coeficiente de compacidade é um outro indicador adimensional que analisa a possibilidade de enchentes. Quanto maior for o valor do coeficiente de compacidade, mais concentrada é a rede de drenagem da bacia. Uma bacia com alta concentração de drenagem tende a ter maior suscetibilidade a inundações e outros eventos hidrológicos extremos. Por outro lado, bacias com baixo coeficiente de compacidade apresentam uma rede de drenagem mais dispersa, o que pode favorecer a infiltração da água no solo e contribuir para a recarga de aquíferos subterrâneos (PORTO, 1999). Este parâmetro é definido como a relação entre a área da bacia e a extensão do perímetro de sua borda apresentada na equação (3).

$$Kc = \frac{0,28P}{\sqrt{A}} \quad (3)$$

Em que:

Kc – Coeficiente de compacidade, adimensional;

A – Área da bacia em km²;

P – Perímetro da bacia em km.

2.4.4 Fator Forma (F)

O Fator Forma corresponde à razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (distância vetorial entre os pontos extremos do rio principal), tendo como principal influência a geologia da área da bacia analisada (DE LIMA JÚNIOR, *et al.*, 2012). Para a análise de suscetibilidade de enchentes, foram determinados seguintes parâmetros conforme De Lima Júnior (2012):

- 1,00 – 1,75: bacia sujeita a enchentes;
- 0,75 – 0,50: tendência mediana a enchentes;
- < 0,50: não sujeito a enchentes.

Visto que este fator relaciona a forma da bacia a um retângulo, o índice pode ser calculado pela equação (4).

$$F = \frac{A}{L^2} \quad (4)$$

Em que:

F – Fator forma, adimensional;

A – Área da bacia em m²;

L – Comprimento do eixo da bacia em m.

2.4.5 Densidade de Drenagem (Dd)

De acordo com Porto (1999), o estudo da densidade de drenagem indica a eficiência da drenagem da bacia, evidenciando a velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica. Seguindo a classificação de Silva (2012), a densidade de drenagem pode ser classificada como:

- Entre 0,59 e 0,98: Densidade de drenagem muito baixa.
- Entre 0,99 e 1,36: Densidade de drenagem baixa.
- Entre 1,37 e 1,75: Densidade de drenagem média.
- Entre 1,76 e 2,14: Densidade de drenagem alta.
- Entre 2,15 e 2,53: Densidade de drenagem muito alta.

É importante notar que quanto maior a densidade de drenagem, maior a velocidade com que a água do escoamento superficial causado pela chuva alcançará as áreas abaixo, o que pode resultar em picos de vazão elevados e aumentar o risco de enchentes e inundações (BARROS, 2016).

Este parâmetro em questão, pode ser determinado pela relação entre somatório do comprimento total dos cursos d'água de uma bacia e a sua área, conforme apresentado na equação (5).

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad (5)$$

Em que:

D_d – Densidade de drenagem, km/km² ;

A – Área da bacia em km²;

L_t – Comprimento total dos cursos d'água de uma bacia em km.

2.4.6 Razão de relevo (Rr)

A relação de relevo (Rr) indica uma relação entre o comprimento do canal principal e a amplitude altimétrica da bacia, permitindo a análise da sua inclinação. Seguindo a classificação de Piedade (1980), a relação de relevo pode ser categorizada como:

- Baixa: 0,00 – 0,10;
- Média: 0,11 – 0,30 e;
- Alta: 0,31 – 0,60.

De acordo com Nardini *et al.* (2013), quanto maior os valores da razão de relevo, mais acidentado é o terreno na área, resultando em um aumento no escoamento superficial direto da água pluvial. Isso reflete em aumento do risco de erosões e enchentes.

A equação (6) abaixo foi utilizada para o cálculo da relação de relevo:

$$R_r = \frac{D}{Hm} \quad (6)$$

Em que:

R_r – Razão de relevo, em km/km;

Hm – Amplitude altimétrica da bacia em km;

D – Comprimento do curso principal em km.

2.5 ESTUDO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Os aspectos morfológicos do terreno são modificados ao longo dos anos devido ao uso e ocupação do solo desordenado nas áreas urbanas. Considerando que o uso da terra influencia diretamente a forma como a água é absorvida, escoada e retida, é essencial direcionar atenção à análise da cobertura do solo (COELHO NETTO, 1994).

Herold e Couclelis (2005) destacam a relevância dos estudos de uso do solo para a modelagem das mudanças urbanas e o planejamento territorial. Eles argumentam que o uso de tecnologias como sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas (SIG) proporciona uma análise mais precisa das mudanças na paisagem, auxiliando no planejamento urbano e na previsão de cenários futuros.

2.6 SENSORIAMENTO REMOTO

O Sensoriamento remoto pode ser definido como a técnica que visa obter informações a respeito de objetos a partir das medições feitas à distância, sem entrar em contato direto com o objeto alvo (ELACHI, 1987).

Tendo em vista que a metodologia mais amplamente empregada se baseia na análise da energia ou radiação eletromagnética refletida e/ou emitida pelos alvos, a Novo (2010) define o sensoriamento remoto como a utilização integrada de sensores para processamento de dados e equipamentos de transmissão de dados, com o propósito de estudar eventos, fenômenos e processos na superfície da Terra.

Os dados obtidos por essa técnica, são fornecidos na forma de imagens digitais, próprias para análise com o auxílio de um computador. Essas imagens são formadas a partir de arranjos regulares de unidades básicas, denominadas pixels (picture elements), organizadas em formato raster (matriz) e gravadas em fita magnética denominada CCT (Computer Compatible Tape). Uma imagem multiespectral consiste em um conjunto de imagens adquiridas simultaneamente de uma mesma área ou cena, em diferentes bandas do espectro eletromagnético. Nessas imagens, cada célula ou pixel é associado a um valor que representa a radiação refletida ou emitida pela parte correspondente da superfície terrestre na banda espectral correspondente. Com imagens digitais adquiridas simultaneamente em várias bandas espectrais, é possível identificar as características físicas do alvo, sua distribuição espacial e como as imagens adquiridas em diferentes datas mudam ao longo do tempo (CAMPANA, 1992).

2.7 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIGS)

Sistema de Informação Geográfica (SIG) é constituído por um conjunto de ferramentas que tem como objetivo adquirir, armazenar, recuperar, transformar e emitir informações espaciais. Os dados geográficos gerados pelos SIGs descrevem objetos do mundo real em termos do posicionamento dos objetos, com relação a um

sistema de coordenadas, relações topológicas existentes e seus atributos não aparentes. De maneira geral, os SIG utilizam funções que processam dados em uma área de trabalho na memória principal. A partir da definição de uma região geográfica de interesse, os dados são recuperados de arquivos em disco, os quais podem ser gerenciados por um sistema de gerenciador de bases de dados (BURROUGH, 1968).

Um modelo de terreno digital (MDT) é uma representação digital/matemática de um recurso ou fenômeno espacial. (ROCHA, 2000).

Segundo Paranhos Filho *et al.* (2016), o MDT que reflete especificamente a superfície do terreno é chamado de modelo digital de elevação (MDE), diferente do modelo digital de superfície (MDS) que representa a superfície do terreno e quaisquer objetos existentes nela como vegetação e edifícios.

Assim, a partir dos dados obtidos pelo sensoriamento remoto, um Sistema de Informações Geográficas (SIG) permite delimitar os divisores de bacias e analisar as características morfométricas da área da bacia utilizando o MDE.

Recentemente, diversas pesquisas foram realizadas para avaliar a morfometria e analisar a evolução do uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas, a partir do uso dos SIGs e sensoriamento remoto, como veremos mais à frente.

2.8 ESTUDOS PREEXISTENTES

Diante de problemas de enchentes e inundações, uma série de estudos tem sido conduzida com o propósito de aprofundar nossa compreensão das bacias hidrográficas e propor estratégias de gestão mais eficazes para mitigar esses eventos adversos. Dentre eles pode-se destacar Barros *et al.* (2016) que avaliou a morfometria e uso do solo da bacia do Rio do Prata na cidade de Ilha do Maranhão (MA) observou que a impermeabilização das áreas urbanas contribuiu com os eventos de inundações na cidade; Cajazeiro (2011) estudando o córrego da Onça na cidade de Belo Horizonte (MG), constatou índices que indicam a suscetibilidade a enchentes no Córrego da Onça, mostrando a necessidade da regulação do processo de expansão no local.

Os autores Sartor *et al.* (2021) também fizeram constatações a partir do estudo morfométrico no Córrego da Lontra, em Cafeândia – SP. Os resultados demonstram que a bacia possui rochas permeáveis que permitem a infiltração da água no solo

diminuindo, assim, o escoamento superficial e o risco de erosão. Os parâmetros morfométricos indicaram que a bacia apresenta uma forma ovalada, com baixa tendência às enchentes.

Além disso, Santos, Lima, Lolo (2021) examinaram a microbacia do córrego São Miguel, em Miguelópolis, SP, utilizando imagens de satélite de 1985 a 2020. Este estudo evidenciou um aumento notável na impermeabilização do solo, enquanto a morfometria indicou uma baixa suscetibilidade a enchentes devido ao formato alongado da bacia, embora com relevo plano, o que ressalta o risco potencial de enchentes em áreas urbanizadas e impermeáveis.

Outro estudo relevante foi conduzido por Tercini *et al.* (2021), os autores identificaram em área de Monte Alto - SP, as fragilidades por intermédio do uso de um SIG, desenvolvido especificamente para Sensoriamento Remoto.

Já a pesquisa conduzida por Brubacher, Oliveira, Guasselli (2011) abordou a suscetibilidade a enchentes na bacia hidrográfica do rio dos Sinos – RS utilizando os modelos digitais de elevação, elaborado a partir das técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. A pesquisa permite distinguir entre áreas com enchentes de curta duração e alta velocidade e áreas com enchentes de longa duração. Esses resultados obtidos possibilitam a identificação de áreas prioritárias para a futura instalação de estações meteorológicas.

Por outro lado, a análise de multicritérios feito pelo Reis *et al.* (2012), foi corroborada pelo mapa de direção de fluxo, indicando forte escoamento de água para áreas de alta susceptibilidade na bacia. Isso reforça a importância do escoamento superficial urbano como fator significativo em inundações e alagamentos. O mapa de susceptibilidade à enxurrada auxilia na compreensão do fenômeno de enchentes permitindo um planejamento de intervenções mitigadores mais eficaz.

Por fim, a pesquisa conduzida por Lobo, Lima, Lolo (2021) na bacia dos Córregos Barbosa e Barbosinha. Os resultados apontaram para uma alta suscetibilidade devido ao crescimento significativo de áreas impermeáveis em um período de três anos, destacando desafios críticos na gestão do desenvolvimento urbano.

3 OBJETIVO

3.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo analisar a microbacia do Córrego Canela a partir dos parâmetros morfométricos e a mudança de uso e cobertura do solo a fim de estudar a propensão da microbacia a inundações durante os anos 1985, 1990, 2000, 2010 e 2022.

3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

O presente estudo contempla os seguintes objetivos:

- Definição de um banco de dados geográficos da área do terreno onde serão inseridas imagens de satélite;
- Delimitação da bacia, extração da drenagem e demais informações das feições físicas altimétricas;
- Determinação dos principais parâmetros morfométricos;
- Análise morfométrica da microbacia através dos resultados obtidos.
- Gerar mapas de uso e ocupação do solo;
- Quantificar e analisar as mudanças de classes de uso e ocupação do solo;
- Integrar os resultados morfométricos e de uso e ocupação e determinar a suscetibilidade a enchentes da bacia.

4 METODOLOGIA

4.1 PROCESSAMENTO DE DADOS ESPACIAIS

Para coletar os dados da região estudada, foi levantado o MDE do terreno a partir do satélite japonês ALOS (Advanced Land Observing System) equipado com o sensor PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar) que opera na banda L (faixa de frequência de microondas entre 500 a 1500 MHz). Os dados obtidos foram disponibilizados com resolução espacial de 12,5 metros por meio do portal da NASA (SANO *et al.*, 2009).

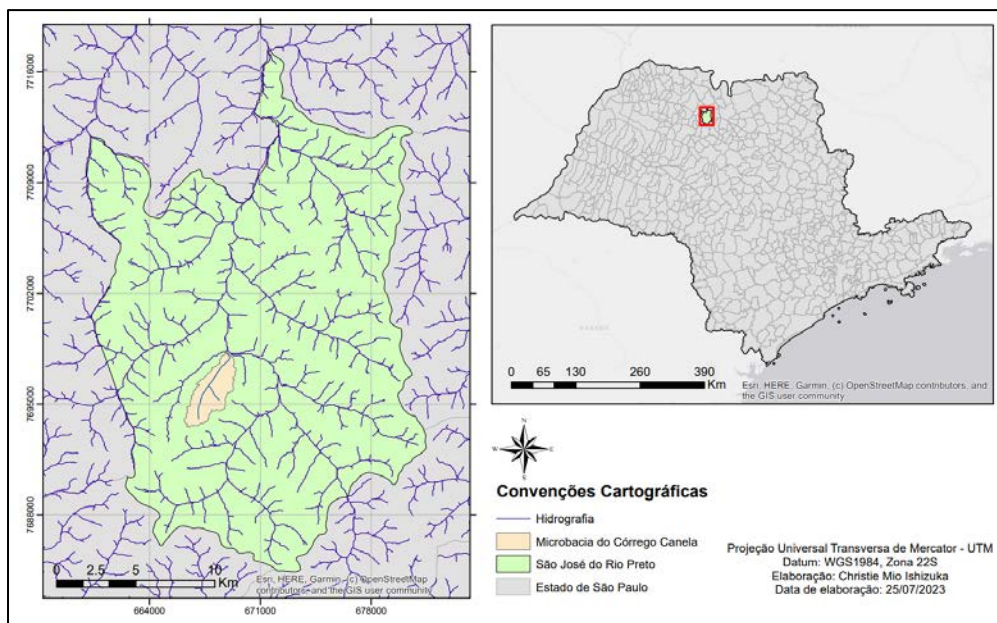
O MDE coletado, foi inserido no ArcMap 10.3 (ESRI, 2014), software de Sistema de Informações Geográficas (SIG) utilizado neste trabalho. Com esse software, foi feito o processamento de imagens, identificação dos cursos d'água, delimitação da bacia, extração de informações das feições físicas altimétricas e por fim, a criação de seguintes mapas temáticos para auxiliar na análise morfométrica e uso e ocupação do solo.

- Mapa de localização da área de estudo;
- Mapa de caracterização da área de estudo;
- Mapa de declividade;
- Mapa hipsométrico.

Todos os mapas elaborados neste trabalho foram projetados no sistema de coordenadas WGS 1984 UTM Zona 22S correspondente à zona em que o município estudado está localizado em relação ao mapa global.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A microbacia estudada trata-se do córrego Canela, situada na região central da área urbana de São José do Rio Preto (Figura 6). O município foi fundado em 1894, localiza-se entre as coordenadas geográficas de 20°38'12" até 20°55'53" de latitude sul (S) e 49°15'16" até 49°27'36" de longitude oeste (W)., possui território de 431,944 km², com uma área urbana de 124,79 km². A população segundo o censo atual é de 480.439 habitantes (IBGE, 2022).

Figura 6 – Localização da área de estudo

Fonte: Elaborada pela autora

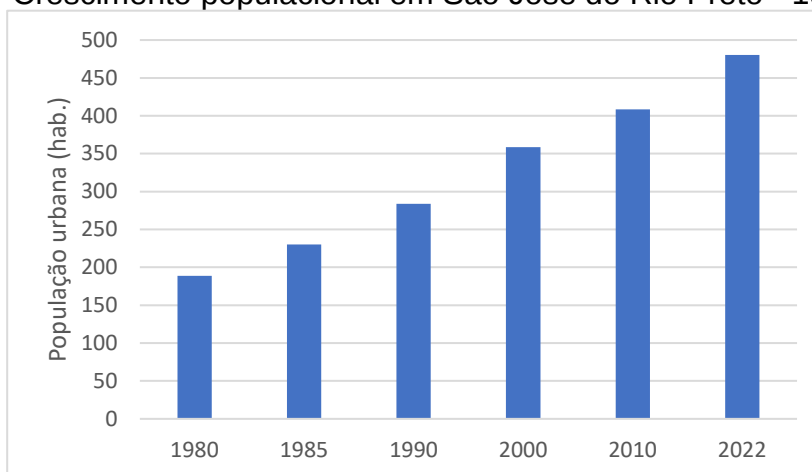
De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima predominante do São José do Rio Preto é do tipo Aw caracterizado por um clima tropical com chuvas durante a maior parte do ano e um inverno seco (ROLIN et al., 2007). A temperatura média anual do município é de 23,6 °C e a precipitação anual é de 1.259 mm (SÃO JOSÉ DO RIO PRETO, 2013).

A Tabela 1 e Gráfico 1 apresentam os dados populacionais de São José do Rio Preto nas últimas décadas, abrangendo o período de 1980 a 2022, com base em informações disponibilizadas pela IBGE (2010 e 2022). Destaca-se um expressivo crescimento populacional de aproximadamente 155% ao longo das últimas quatro décadas, o qual está diretamente associado ao crescimento urbano da região.

Tabela 1 – Crescimento populacional em São José do Rio Preto - 1980 até 2022.

Ano	População urbana (hab.)
1980	188.599
1985	230.196
1990	283.761
2000	358.523
2010	408.435
2022	480.439

Fonte: Adaptado de IBGE 2010 e 2022

Gráfico 1 – Crescimento populacional em São José do Rio Preto - 1980 até 2022

Fonte: Adaptado de IBGE 2010 e 2022

O município destaca-se pelos serviços regionais nas áreas da saúde, comércio intenso e diversificado, atraindo consumidores e fornecedores dos bens e serviços oferecidos, o que tem levado a elevadas taxas de crescimento anual da população nas últimas décadas (PATEIS, 2007).

Assim, o município de São José do Rio Preto vem passando pelo processo de urbanização e sofreu várias modificações na paisagem nas últimas décadas. O crescimento descontrolado das ocupações urbanas tem provocado inundações e alagamentos que agravam os problemas de saneamento, saúde e segurança. Próximo ao córrego Canela, encontra-se a Avenida Alberto Andaló a qual possui histórico de inundação desde a década de 80 conforme Figura 7, Figura 8 e Figura 9.

Figura 7 –Avenida Alberto Andaló alagada no ano de 1980.

Fonte: Cury (1980)

Figura 8 – Avenida Alberto Andaló alagada no ano de 2012.



Fonte: Cury (2012)

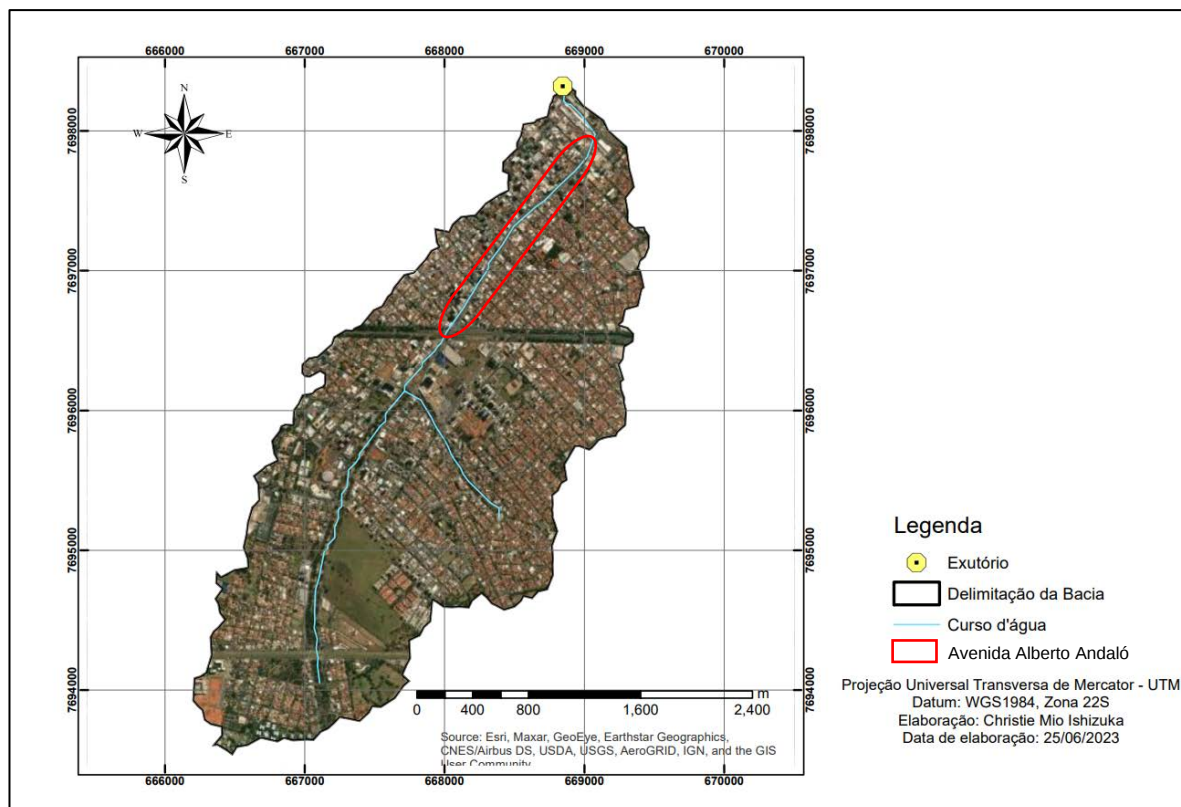
Figura 9 – Avenida Alberto Andaló alagada no ano de 2015.



Fonte: Portal G1 (2015)

A Figura 10 apresenta a microbacia estudada com a área de 7,69 km² e o curso d'água do córrego Canela que desagua no Rio Preto pelo exutório localizado na latitude 20°48'26" S e longitude 49°22'39" O. A partir desse exutório, foi traçada a microbacia da área de estudo.

Figura 10 – Caracterização da microbacia do córrego Canela



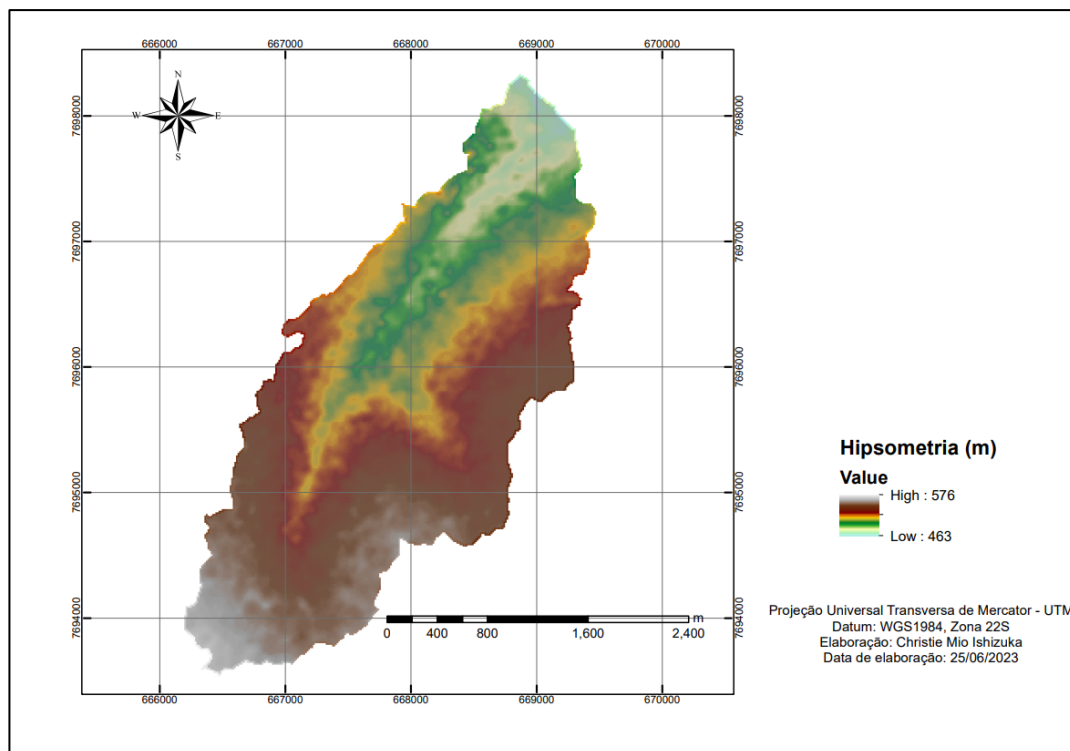
Fonte: Elaborada pela autora

No que diz respeito à tipologia do solo, a área de estudo foi classificada como Argissolo Vermelho-Amarelo Eutroficados segundo a distribuição geográfica dos solos do Brasil em escalas de 1:250.000 e 1:100.000. (ROSSI, 2017).

Além disso, para uma caracterização do relevo do terreno, foram elaborados o mapa de declividade (Figura 12) e o mapa hipsométrico (Figura 11) que apresenta as altitudes do terreno variando de 463 m a 576 m.

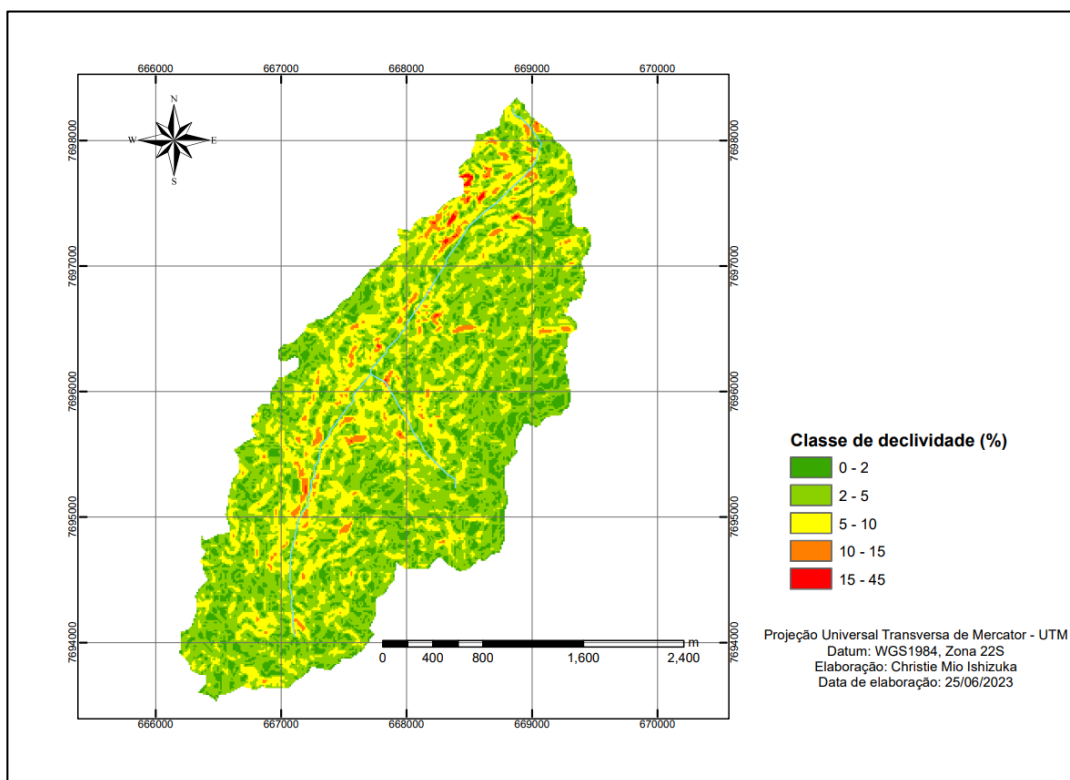
Observando o mapa de declividade (Figura 12) e os dados apresentados na Tabela 2, foi evidenciado que o terreno em questão pode ser caracterizado como majoritariamente suave ondulado (2 a 5% de inclinação), abrangendo cerca de 54% da área total, de acordo com a classificação de inclinação feita por Lepsch (1991).

Figura 11 – Mapa hipsométrico da microbacia do córrego Canela



Fonte: Elaborada pela autora

Figura 12 – Declividade da microbacia do córrego Canela



Fonte: Elaborada pela autora

Tabela 2 – Classe de declividade da área de estudo

Declividade	Classe	Área (km²)	Área (%)
0 – 2%	Plano	1,148	14,93
2 – 5%	Suave ondulado	4,194	54,54
5 – 10%	Moderadamente ondulado	2,140	27,83
10 – 15%	Ondulado	0,193	2,51
15 – 45%	Forte ondulado	0,014	0,18
45 – 70%	Montanhoso	0,000	0,00
> 70%	Escarpado	0,000	0,00

Fonte: Organizada pela autora

De acordo com Gouveira e Ross (2019), existem áreas conhecidas como planícies de inundação que, por natureza, são as áreas que margeiam os cursos d'água (áreas de várzea), podendo inundar em períodos de cheia, sendo influenciadas principalmente pela tipologia do solo e pela configuração do relevo. Nessas áreas, os tipos de solo mais predominantes geralmente incluem os planossolos e gleissolos, com um gradiente de inclinação variando de 0 a 2%.

Por outro lado, de acordo com Ross e Fierz (2017), solos como os orgânicos, gleyssolos, espodossolos e tiomórficos são classificados como fatores contribuintes para as áreas que apresentam alta suscetibilidade a inundações.

Dessa forma, fica evidente que a microbacia em estudo não se enquadra naturalmente como uma planície de inundação propensa a alagamentos. Assim, é necessário realizar uma análise mais aprofundada, incluindo a morfometria da área e uma avaliação do uso e ocupação do solo, para entender melhor os fatores que podem estar influenciando a suscetibilidade a inundações nessa região específica.

4.3 ANÁLISE MORFOMÉTRICA

Após realizar o processamento de dados, foram extraídas no Arcmap 10.3 as informações das feições físicas como a área, o perímetro, o comprimento dos cursos d'água e o canal principal da microbacia em análise. A partir desses dados, foram calculados índices que representam parâmetros relacionados à vulnerabilidade de enchentes, tais como o Coeficiente de Compacidade (Kc), o Fator de Forma (Kf), o

Índice de Circularidade, o Índice de Sinuosidade, a Densidade de Drenagem (Dd), e a Amplitude Altimétrica.

Para classificar a Microbacia do Córrego Canela quanto à susceptibilidade a enchentes, utilizamos o Quadro 1 a seguir, que apresenta os intervalos de classificação de cada parâmetro mencionado.

Quadro 1 – Parâmetros de referência para classificação morfométrica da microbacia do Córrego Canela

Parâmetro	Tendência à Enchente			Referência
	Baixa	Média	Alta	
Índice de Sinuosidade (Is)	Superior a 1,5	-	Inferior ou igual a 1,5	Dury (1969)
Índice de Circularidade (Ic)	0,00 a 0,50	0,51	0,52 a 1,00	Alvess & Castro (2003)
Coeficiente de compacidade (Kc)	1,00 a 1,25	1,25 a 1,50	Superior a 1,50	Lima (1969)
Fator forma (F)	Inferior a 0,50	0,50 a 0,75	0,75 a 1,00	De Lima Júnior (2012)
Densidade de drenagem (Dd)	0,59 a 1,36	1,37 a 1,75	1,76 a 2,53	Silva (2012)
Razão de relevo (Rr)	0,00 a 0,10	0,11 a 0,30	0,31 a 0,60	Piedade (1980)

Fonte: Organizada pela autora

4.4 ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Para avaliar o aumento da urbanização, foi realizada uma análise comparativa de uso e ocupação do solo entre os anos distintos.

Neste estudo, optou-se por utilizar os dados do projeto MapBiomas (Projeto MAPBIOMAS, 2023), uma vez que esse recurso oferece um nível detalhado de classes de uso e ocupação da terra, o que se mostrou altamente benéfico para os objetivos deste trabalho. Dentro do mesmo projeto, os mapas de cobertura e uso da terra são disponibilizados em formato matricial, com uma resolução de pixel de 30 m. Esses dados são adquiridos por meio dos sensores Thematic Mapper (TM), Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), e Operational Land Imager e Thermal Infrared Sensor (OLI-TIRS), embarcados nos satélites Landsat 5, Landsat 7 e Landsat 8, respectivamente.

Assim, por meio do Projeto MapBiomas, na Coleção 8, foram obtidas as imagens raster que representam o uso e ocupação do solo no Brasil nos anos de 1985, 1990, 2000, 2010 e 2022, todas no formato GeoTiff. Para processar essas

imagens, utilizou-se o software ArcMap 10.3, com o propósito de reprojetá-las para o sistema de coordenadas planas WGS 1984 UTM Zona 22S, recortá-las para delimitar a área de estudo com o auxílio do polígono gerado para os cálculos dos parâmetros morfométricos e reclassificá-las manualmente conforme a classificação definida pelo MapBiomias.

Assim, foi extraído o mapa de uso e ocupação do solo e a subsequente quantificação de cada classe presente na área de estudo.

A descrição detalhada das classes observadas na área estudada foi apresentada no quadro a seguir:

Quadro 2 – Classes de uso e ocupação do solo e a descrição detalhada

Classe	Descrição
Formação Florestal	Floresta Ombrófila Densa, Aberta e Mista e Floresta Estacional Semi Decidua, Floresta Estacional Decidua ou Formação Pioneira Arbórea.
Pastagem	Áreas de pastagem predominantemente plantadas, diretamente ligadas à atividade agropecuária. As áreas de pastagem natural, por sua vez, são predominantemente caracterizadas como formações campestres ou campo alagado, podendo ser submetidas ou não a práticas de pastejo.
Cana	Áreas cultivadas com a cultura da cana-de-açúcar.
Mosaico de Usos	Áreas de vegetação urbana, incluindo vegetação cultivada e vegetação natural florestal e não-florestal.
Área urbanizada	Áreas com significativa densidade de edificações e vias, incluindo áreas livres de construções e infraestrutura.
Outras áreas não vegetadas	Áreas de superfícies não permeáveis (infra-estrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes.

Fonte: Projeto MapBiomias, 2023

Por fim, os dados foram todos compilados o que permitiu a discussão dos resultados com vistas ao planejamento urbano e ambiental.

5 RESULTADOS

5.1 ANÁLISE MORFOMÉTRICA

Foram obtidos os seguintes dados morfométricos apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores de parâmetros morfométricos obtidos e suscetibilidade a inundação da microbacia do Córrego Canela.

Parâmetro morfométrico	Unidade	Resultado	Suscetibilidade a inundações
Área (A)	km ²	7,69	-
Perímetro (P)	km	14,89	-
Comprimento do canal principal (D)	km	5,02	-
Comprimento vetorial do canal principal (Dv)	km	4,66	-
Comprimento do eixo da bacia (L)	km	5,34	-
Comprimento total dos cursos d'água (Lt)	km	6,19	-
Altitude máxima (Hmáx)	m	576	-
Altitude mínima (Hmín)	m	463	-
Amplitude altimétrica (Hm)	m	113	-
Índice de Sinuosidade (Is)	-	1,08	Alta
Índice de Circularidade (Ic)	-	0,44	Baixa
Coeficiente de compacidade (Kc)	-	1,50	Média
Fator forma (F)	-	0,0003	Baixa
Densidade de drenagem (Dd)	km/km ²	0,80	Baixa
Razão de relevo (Rr)	km/km	0,02	Baixa

Fonte: Organizada pela autora

Os resultados da caracterização da microbacia do córrego Canela indicam que a área encontrada na bacia em estudo possui aproximadamente 7,69 km² e o seu perímetro encontrado foi de 14,89 km. O comprimento do curso principal é de 5,02 km, que representa aproximadamente 81% da extensão total dos cursos d'água de 6,19 km. A partir desses dados, foram calculados outros parâmetros morfométricos.

O índice de sinuosidade (Is) calculado para a microbacia de interesse foi de 1,08, o que indica que o canal principal da bacia tende a seguir uma trajetória mais reta, resultando em maior velocidade de escoamento e aumentando a probabilidade

de ocorrência de enchentes e inundações. No estudo feito pelos Barros *et al.* (2016) foram identificados os índices de sinuosidade (Is) para quatro sub-bacias da cidade de Ilha do Maranhão - MA, os valores variaram de 1,06 a 1,19 sendo categorizados como retilíneos e suscetíveis às enchentes.

O coeficiente de compacidade (Kc) calculado para a microbacia revelou um valor de 1,5, representando um grau médio de suscetibilidade a enchentes. Isso sugere que a bacia não possui um formato completamente circular, mas também não apresenta muitas irregularidades em sua delimitação. Santos *et al.* (2021) caracterizou a região da Microbacia do Córrego São Miguel em Miguenópolis – SP como bacia alongada com baixa susceptibilidade a enchentes conforme o valor obtido de 2,13 para o parâmetro.

O Índice de Circularidade (Ic) apresentou o valor de 0,44, indicando que a microbacia possui uma forma alongada, uma vez que esse valor está abaixo de 0,51. Essa característica também é evidenciada pelo fator de forma (F), que obteve o valor de 0,0003, reforçando a configuração alongada e estendida da microbacia. Isso permite um maior tempo para a infiltração no solo e a absorção gradual da água, reduzindo o risco de inundações súbitas. O estudo de Cajazeiro (2011) nas Bacias do Ribeirão da Onça e do Ribeiro localizados em Belo Horizonte – MG, apresentaram valores de Ic de 0,3402 e 0,3770 respectivamente, com característica alongada das bacias. Essa característica da microbacia, com sua forma mais alongada e estendida, tem implicações significativas na resposta hidrológica, a água da chuva tem um tempo de concentração maior para percorrer a microbacia antes de alcançar seu ponto de saída. Como a água leva mais tempo para percorrer a microbacia, há uma redução na probabilidade de picos de enchentes repentinos e intensos, uma vez que a água é distribuída mais uniformemente ao longo do tempo.

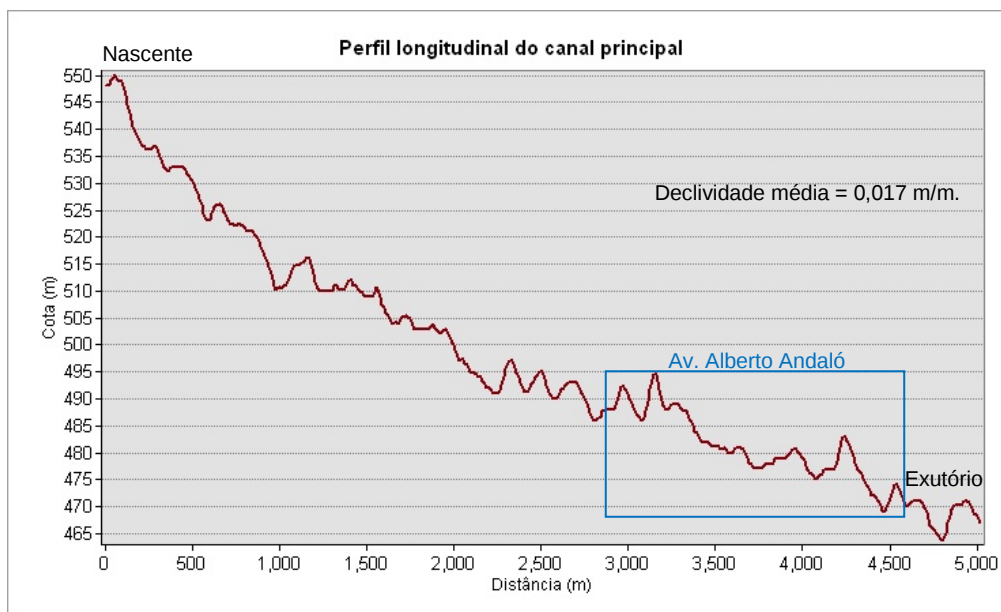
A densidade de drenagem (Dd) calculada foi de 0,80 km/km², situando-se entre 0,59 e 1,36, assim como o valor de densidade de drenagem encontrado para a bacia dos Córregos Barbosa e Barbosinha em Lins - SP de 0,70 km/km² no trabalho elaborado por Lobo, Lima, Lolo (2021). Isso indica também um baixo risco de enchentes, atribuído à maior capacidade de infiltração ao longo do canal na microbacia.

A razão de relevo (Rr) no córrego Canela foi de 0,02 km/km, um valor inferior a 0,1, indicando baixa probabilidade de ocorrência de enchentes, de acordo com o

Piedade (1980). Em concordância, Sartor *et al.* (2021) também registraram o valor de 0,02 km/km para a Rr no córrego da Lontra, em Cafeândia – SP, evidenciando que a suscetibilidade a enchentes é baixa, pois quanto menor o trecho em declive, menor será a velocidade da água, e assim, menor será a chance de ocorrer erosão.

No que diz respeito à variação de altitude, conforme demonstrado no mapa hipsométrico (Figura 11), observa-se que a cota do terreno diminui à medida que se aproxima do Rio Preto, o local onde o Córrego Canela desagua. Assim como pode ser observado no Gráfico 2, o perfil longitudinal tem sua origem na nascente e o terreno se declina cada vez menos conforme aproxima-se do exutório do córrego. Desse modo, o terreno próximo à nascente, que apresenta uma inclinação mais acentuada, permite um fluxo mais rápido tanto sobre o terreno, enquanto na região do exutório que apresenta um padrão mais homogêneo, naturalmente proporciona um fluxo mais lento, resultando em picos elevados de vazão a jusante, o que aumenta o risco de ocorrência de enchentes e inundações próximo ao exutório do córrego Canela, ou seja, próximo à Avenida Alberto Andaló.

Gráfico 2 – Perfil longitudinal do canal principal do córrego Canela.



Fonte: Elaborada pela autora

De forma geral, considerando a predominância de parâmetros indicando baixa suscetibilidade (quatro em comparação com um para alta suscetibilidade e um para média suscetibilidade), pode-se concluir que, com base nessas características morfométricas, a microbacia possui uma baixa suscetibilidade a enchentes e erosão.

5.2 ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

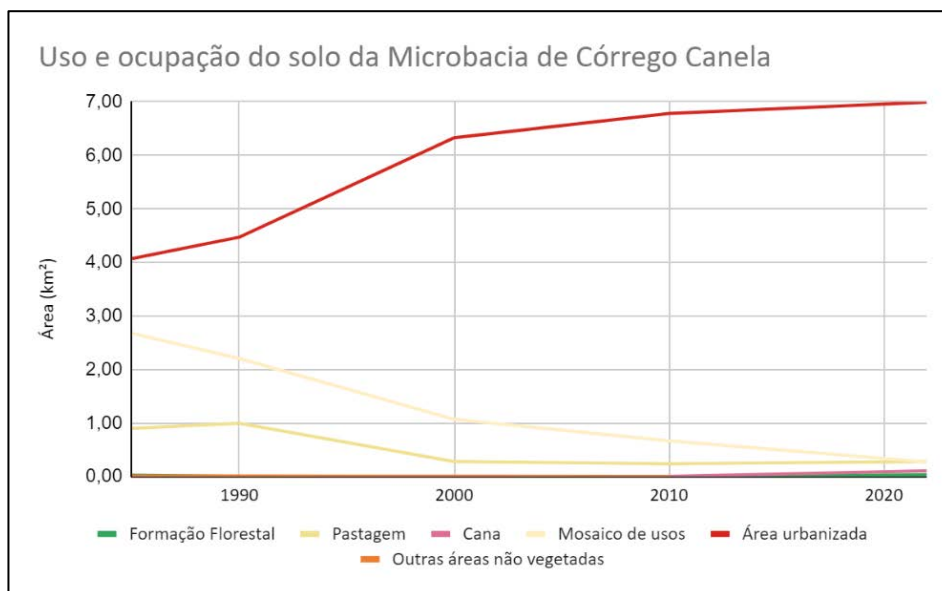
Através da análise e classificação do uso e ocupação do solo da Microbacia do Córrego Canela, conforme apresentado na Figura 13, Tabela 4 e Gráfico 3, pode-se observar as mudanças significativas nos cenários ao longo do período que abrange de 1985 a 2022.

Tabela 4 – As áreas quantificadas de acordo com a classe de uso e ocupação do solo da microbacia de Córrego Canela.

Classe	1985		1990		2000		2010		2022	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Formação Florestal	0,02	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,44
Pastagem	0,90	11,72	0,99	12,89	0,28	3,64	0,24	3,12	0,28	3,64
Cana	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,13	0,00	0,04	0,11	1,43
Mosaico de usos	2,68	34,90	2,21	28,77	1,07	13,91	0,67	8,71	0,27	3,51
Área urbanizada	4,07	52,99	4,47	58,19	6,33	82,30	6,78	88,14	6,99	90,83
Outras áreas não vegetadas	0,01	0,13	0,01	0,15	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,15

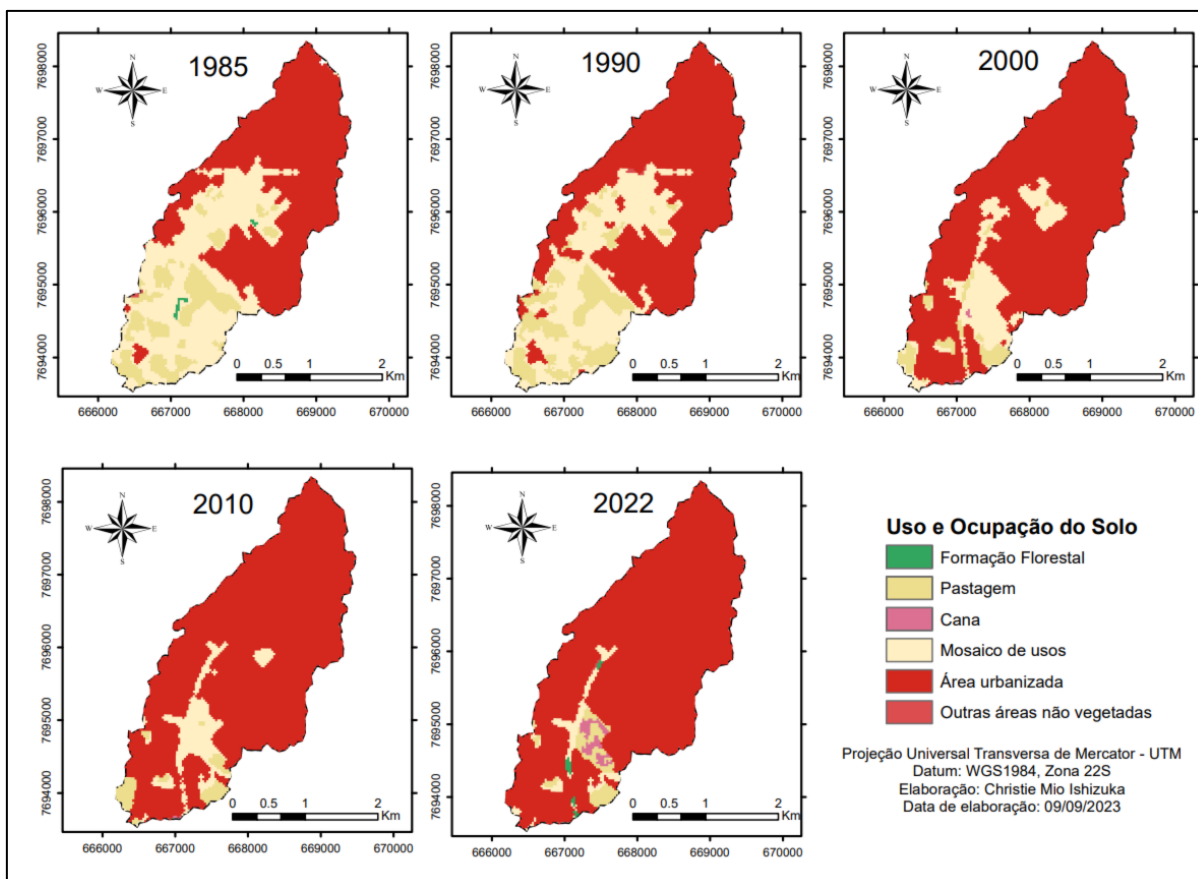
Fonte: Organizada pela autora

Gráfico 3 – Uso e ocupação do solo da Microbacia de Córrego Canela durante o ano de 1990 até 2022.



Fonte: Elaborada pela autora

Figura 13 – Mapa de uso e ocupação do solo da Microbacia de Córrego Canela.



Fonte: Elaborada pela autora

Em 1985, a maior parte da área já estava coberta por áreas urbanizadas (4,07 km²), representando uma porção significativa da paisagem. As áreas de pastagem (0,90 km²) e mosaico de usos (2,68 km²) também desempenhavam papéis proeminentes refletindo a influência direta das atividades humanas no ambiente.

Conforme os anos avançaram, as áreas urbanizadas foram expandidas ainda mais, que passaram de 4,07 km² em 1985 para 6,99 km² em 2022, representando um aumento significativo de aproximadamente 72%. Em contraste, as áreas destinadas à pastagem sofreram uma redução, diminuindo de 0,99 km² para 0,28 km² durante a primeira década dos anos 2000, representando uma diminuição de 72% e sendo substituídas por áreas impermeáveis. Lobo, Lima, Lolo (2021) observaram que as áreas impermeabilizadas das da bacia do Córrego Barbosa e Barbosinha evoluíram em 133% ao longo de três décadas, representando um aumento significativo no risco de enchentes e inundações.

Ademais, a categoria de uso da terra denominada "áreas de mosaico de usos" que abrange terras destinadas à agropecuária, seja para pastagem ou agricultura, registrou uma notável redução de 90% ao longo do período em análise. Esse declínio acentuado pode ser provocado pela crescente urbanização que ocorreu na região. Segundo Pateis (2007), devido à descentralização econômica em São Paulo, houve uma expansão da indústria para municípios vizinhos à capital, impulsionando o setor produtivo em São José do Rio Preto. Posteriormente, as empresas se viram compelidas a buscar novas vantagens em cidades do interior. Além disso, o desenvolvimento urbano foi impulsionado pela diversidade comercial e pelos serviços de alcance regional, especialmente nas áreas de saúde e educação. Isso atraiu tanto consumidores em busca de bens e serviços quanto trabalhadores que encontraram emprego no município, resultando em taxas elevadas de crescimento anual ao longo das últimas décadas.

Conforme destacado pelos autores Diedrichs, Andrade Filho e Balarim (2009), a urbanização exerce uma grande interferência nas características hidrológicas da bacia, influenciando a diminuição do tempo de concentração das bacias devido à elevada taxa de impermeabilização do solo. Em todas as sub-bacias analisadas pelos autores, foi observado o aumento significativo nos picos de enchente do hidrograma, com um acréscimo superior a 100% nos valores de vazão máxima devido à urbanização.

Embora pelos parâmetros morfométricos, a área não possui configuração naturalmente suscetível a enchentes, considerando o estudo feito de uso e ocupação do solo e a urbanização acelerada e desordenada do município, pode ser afirmado que o Córrego Canela apresenta alta suscetibilidade a enchentes, resultante da impermeabilização da região sem um planejamento adequado de drenagem.

6 CONCLUSÃO

Tendo em vista que a área da microbacia não se caracteriza como uma planície de inundação natural e que quatro dos seis parâmetros morfométricos analisados indicam baixa suscetibilidade a enchentes, inicialmente, a microbacia não se configura como uma área naturalmente inundável.

No entanto, a análise do uso e ocupação do solo na Microbacia do Córrego Canela ao longo das décadas revela a alta suscetibilidade a enchentes devido à impermeabilização da área provocado pelo crescimento na urbanização, com um aumento significativo de aproximadamente 72% nas áreas urbanizadas de 1985 a 2022. Isso está diretamente relacionado ao expressivo crescimento populacional na região, que cresceu aproximadamente 155% nas últimas quatro décadas. Como resultado desse rápido desenvolvimento urbano, as áreas de pastagem tiveram uma queda de 72% na primeira década dos anos 2000.

Dessa maneira, a Avenida Alberto Andaló, localizada nas proximidades do Córrego Canela e com um histórico de inundações desde a década de 1980, tem sua situação agravada ao longo do tempo em decorrência das alterações no uso e ocupação do solo. O índice de sinuosidade encontrada na análise morfométrica pode ser um dos contribuintes para as inundações, destacando a necessidade de uma gestão eficiente da drenagem, pois o canal principal tende a seguir uma trajetória mais reta, aumentando a velocidade da água e consequentemente o risco de ocorrência de enchentes. Outro fator que pode ter contribuído para as enchentes é a topografia da região próxima ao Rio Preto, onde o Córrego Canela deságua, apresenta uma queda acentuada, permitindo que a água escoe rapidamente, assim, à medida que nos aproximamos do exutório do córrego, o terreno se torna mais plano, resultando em um escoamento mais lento. Esse padrão hidrológico cria picos de vazão a jusante, aumentando o risco de enchentes e inundações na parte inferior do Córrego Canela.

Assim, com base nos dados da morfometria e do uso e ocupação do solo, pode-se considerar que a microbacia do Córrego Canela apresenta atualmente uma alta suscetibilidade a inundações devido à ação antrópica de uso e ocupação do solo provocada pela urbanização acelerada e pelo planejamento urbano inadequado. A modificação do uso e ocupação do solo, por meio da impermeabilização da área, praticamente elimina a infiltração na bacia, aumentando significativamente a

velocidade do escoamento. Mesmo que o parâmetro morfométrico indique baixa suscetibilidade, a suscetibilidade às enchentes pode ser impactada pelas alterações na velocidade do escoamento, tempo de concentração da bacia, infiltração e consequentemente o seu hidrograma, os quais são modificados pela urbanização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análises de padrões de lineamentos. **Rev. Brasileira de Geociências**, p. 117-1245, jun. 2003.

AMARAL, R.; RIBEIRO, R.R. Inundações e Enchentes. In.: TOMINAGA, L. K. *et al.* (Org.). **Desastres naturais**: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. p. 39-52.

AMORIM, L. M. **Ocupação de Fundos de Vale em Áreas Urbanas**. Estudo de Caso: Córrego do Mineirinho, São Carlos – SP. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4222/DissLMA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 12 mar. 2023.

ÁRTICO, B. C. **O estudo de áreas vulneráveis a enchentes: uma ferramenta na mitigação de impactos. O caso de São José do Rio Preto-SP**. São Carlos – SP. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/4344>>. Acesso em 16 mar 2023.

BARROS, D. V.; SILVA, Q. D.; TEIXEIRA, E. C; SANTANA, R. G. Morfometria, uso e cobertura do solo como indicadores de enchentes e inundações na Bacia do Rio do Prata, Ilha do Maranhão. **Rev. Bras. Gest. Amb. Sustent.** [online]. 2016, vol. 3, n. 5, p. 217-226. Disponível em: <<http://revista.ecogestaobrasil.net/v3n5/v03n05a11.html>>. Acesso em 11 jun 2023.

BRUBACHER, J. B.; OLIVEIRA, G.G.; GUASSELLI, L.A. Suscetibilidade de enchentes a partir da análise das variáveis morfométricas na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS. **Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto**, v. 15, p. 1863-1870, 2011.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resouces assessment**. Oxford, Clarendon Press, 1986. 193 p

CAJAZEIRO, J. M. D. **Análise da susceptibilidade à formação de inundações nas bacias e áreas de contribuição do ribeirão Arrudas e córrego da Onça em termos de índices morfométricos e impermeabilização.** 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1843/MPBB-8THHT4>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

CÂMARA, G.; ORTIZ, M. J. **Sistemas de informação geográfica para aplicações ambientais e cadastrais: uma visão geral.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA: CARTOGRAFIA, SENSORIAMENTO E GEOPROCESSAMENTO. 1998. p. 59-88.

CAMPANA, N. A. **Estimativa de parâmetros físicos de bacias utilizando técnicas de sensoriamento remoto e o sistema de informações geográficas.** 1992. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/205979>>. Acesso em: 19 mar. 2023.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo: Edgard Blucher, 2. ed. da Universidade de São Paulo, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais.** São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1999.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia, In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 1994. p. 472.

COLLISCHONN, W; DORNELLES, F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências.**

Ambientais. Associação Brasileira de Recursos Hídricos-ABRH, Porto Alegre, 2013.

COSTA, H. R. de O. **O risco ambiental em uma cidade pequena: análise da morfodinâmica atual e sua relação com as áreas de risco à enchentes, inundações e alagamentos na cidade de Capinópolis/MG.** 2019. 161 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.662>>. Acesso em: 18 de mar. 2023.

DIEDRICHS, A. S.; ANDRADE FILHO, A. G.; BALARIM, C. R. Estudos Hidrológicos e Efeitos da Urbanização na Bacia do Arroio da Ronda em Ponta Grossa – Paraná. Publ. **UEPG Ci. Exatas Terra, Ci. Agr. Eng.**, Ponta Grossa, v. 15, n. 1, p. 25-37, 2009.

DE LIMA JÚNIOR, J. C. *et al.* Determinação das características morfométricas da sub-bacia do riacho madeira cortada, Quixelô, CE. In: **VII CONNEPI-Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação**. 2012.

ENOMOTO, C. F. **Método para elaboração de mapas de inundação: estudo de caso na bacia do rio Palmital, Paraná**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

ERSI, **ArcGIS 10.3 – Software de georeferenciamento**, 2014. Disponível em: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/get-started/quick-start-guides/arcgis-desktop-quick-start-guide.htm> Acesso em: 31 ago. 2023.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. Turrialba: CATIE, 1996.

G1, **Motociclista é levado por enxurrada durante chuva forte em Rio Preto**, 2015. Disponível em: <https://g1.globo.com/sao-paulo/sao-jose-do-rio-preto-aracatuba/noticia/2015/03/motociclista-e-levado-por-enxurrada-durante-chuva-forte-em-rio-preto-veja.html>>. Acesso em: 9 abril. 2023.

HEROLD, M.; COUCLELIS, H. **The role of spatial metrics in the analysis and modeling of urban land use change**. *Computers, Environment and Urban Systems*, v. 29, n. 4, p. 369-399, 2005.

HORA, S.B.; GOMES, R.L. Mapeamento e avaliação do risco a inundação do Rio Cachoeira em trecho da área urbana do Município de Itabuna/BA. **Sociedade & Natureza**, v. 21 n. 2, p. 57-75, 2009. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-45132009000200005>>. Acesso em: 19 fev. 2023.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrographical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v.56, n.2, p.275-370, 1945.

IBGE, **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Cidades – São José do Rio Preto, 2022. Disponível em < <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/sao-jose-do-rio-preto.html>>. Acesso em: 09 abril. 2023.

IBGE, **Censo demográfico 1940-2010. Até 1970 dados extraídos de: Estatísticas do século XX**. Rio de Janeiro, 2007 vol. 42. Disponível em <

<https://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=POP122&t=taxa-urbanizacao>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. População – São José do Rio Preto. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-jose-do-rio-preto/panorama>>. Acesso em: 09 abril. 2023.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística** 2010. Evolução da população, segundo os municípios - 1872/2010. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-jose-do-rio-preto/panorama>>. Acesso em: 31 ago. 2023.

LEPSCH, I. F. **Manual para levantamento utilitário domeio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4ª aproximação, 2ª impressão rev. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175p.

LIMA, W. de P. *et al.* **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000. p.33-43.

LIMA, W. de P. **Manejo de Bacias Hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ. 1969.

LOBO, I.V; LIMA, C.G da R.; Lollo. J. A. de. Estudo morfométrico e de uso e cobertura da terra para auxílio ao planejamento urbano na microbacia do Córrego Barbosa e Barbosinha, Lins – SP. **XVII Fórum Ambiental**. São Paulo, 2021. p.626-640.

MAPBIOMAS. **O Projeto**. [S.I.], 2023. Disponível em: <https://mapbiomas.org/o-projeto>. Acesso em: 3 dez 2023.

NARDINI, R. C.; POLLO, R. A.; CAMPOS, S.; BARROS, Z. X.; CARDOSO, L. G. Análise morfométrica e simulação das áreas de preservação permanente de uma microbacia hidrográfica. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 4, p. 687-699, 2013

NOVO, E. M. L. de M. **Introdução ao Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2010. 4ª edição.

PARANHOS FILHO, *et. al.* 2016. **Geotecnologias em Aplicações Ambientais**. 1.ed. Campo Grande: UFMS. 383p.

PATEIS, C. S. **Reestruturação Urbana e Transformações na Área Central em Cidades Médias: O Caso de São José do Rio Preto – SP** (Dissertação de

Mestrado em Geografia). UNESP. Rio Claro, 2007. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/95678/pateis_cs_me_rcla.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 5 jun. 2023.

PEREIRA, G. S.; GOUVEIA, I. C. M. C. Revista GeoUECE (Online), v. 8, n. 15, p. 111-123, jul./dez. de 2019. Disponível em: <<https://revistas.uece.br/index.php/GeoUECE/article/view/2170>>. Acesso em: 25 ago. 2023.

PEREZ F. A.; GALVANI, E. **Inundações no município de Santa Barbara d'Oeste, SP : condicionantes e impactos**. Tese de Mestrado da Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Geociências, 2007.

PERUCCA, L. P.; ANGILIERI, Y. E. **Morphometric characterization of del Molle Basin applied to the evaluation of flash floods hazard, Iglesia Department, San Juan, Argentina**. Quaternary International, v. 233, p. 81-86, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2010.08.007>>. Acesso em: 8 dez. 2022.

PIEIDADE, G. C. R. **Evolução de voçorocas em bacias hidrográficas do município de Botucatu, SP**. 1980. 161 f. Tese (Livre Docência) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 1980.

PORTO, R. L. L.; FILHO, K. Z.; DA SILVA, R. M. **Bacias Hidrográficas**. PHD 307 Hidrologia Aplicada. Apostila de sala de aula. Escola Politécnica da USP, SP. 1999.

REIS, P. E. *et al.* O escoamento superficial como condicionante de inundações em Belo Horizonte, MG: Estudo de caso da sub-bacia Córrego do Leitão, bacia do Ribeirão Arrudas. **Geosciences= Geociências**, v. 31, n. 1, p. 31-46, 2012.

ROCHA, C.H.B. 2000. Geoprocessamento: Tecnologia transdisciplinar. Juiz de Fora/MG: **Ed Do Autor**. 220p.

ROLIN, G. S. *et al.* Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 711-720, 2007. Acesso em: 24 ago. 2023.

<<http://twixar.me/MvRm>>. Acesso em: 12 jun. 2023.

ROSS, J. L. D.; FIERZ, M. de S. M. Geomorfologia aplicada ao planejamento ambiental territorial: potencialidades e fragilidades. **Redução do risco de desastres**

e a resiliência no meio rural e urbano. São Paulo: Centro Paula Souza, 2017, p 58-77.

ROSSI, M. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo.** São Paulo, 2017. V.1. 118p. Disponível em: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutoflorestal/2017/09/mapa-pedologico-do-estado-de-sao-paulo-revisado-e-ampliado/>>. Acesso em: 3 dez. 2023.

SANO, Edson E. *et al.* Análise de Imagens do Satélite ALOS PALSAR para o Mapeamento de Uso e Cobertura da Terra do Distrito Federal. São Paulo: UNESP, Geociências, v. 28, n. 4, p. 441-451, 2009. Disponível em: <https://www.revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/28_4/Art%2008_Sano.pdf>. Acesso em: 3 dez. 2023.

SANTOS, A. M. *et al.* Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 7, p. 195-211, 2012. Disponível em: <[https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/tYpMVzyHC7Gw49N4FvHF7qb/?format=pdf&lang=pt#:~:text=O%20%C3%ADndice%20de%20sinuosidade%20\(Is,de%20escoamento%20do%20canal%20principal](https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/tYpMVzyHC7Gw49N4FvHF7qb/?format=pdf&lang=pt#:~:text=O%20%C3%ADndice%20de%20sinuosidade%20(Is,de%20escoamento%20do%20canal%20principal)>. Acesso em: 5 mar. 2023.

SANTOS, G. T.; LIMA, C. G. R.; Lollo, J. A. de; Uso e Ocupação do Solo e Caracterização Morfométrica da Microbacia do Córrego São Miguel em Miguelópolis-SP. **XVII Fórum Ambiental.** São Paulo, 2021. p.40-52.

SANTOS, H. G. dos *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Quinta edição, revisada e ampliada. Brasília, DF, 2018. Disponível em: < [SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf](#)> Acesso em: 3 dez. 2023.

SANTOS, R. R. *et al.* Planejamento urbano e gestão territorial: uma revisão histórica e conceitual. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 9, n. 2, p. 160-178, 2017.

SÃO JOSÉ DO RIO PRETO, Prefeitura municipal de São José do Rio Preto. **Plano Municipal De Saneamento Básico**, São José do Rio Preto, SP, 2013. Disponível em: < [127345_PMDU.pdf \(riopreto.sp.gov.br\)](#)>. Acesso em: 24 ago. 2023.

SARTOR, M. B. *et al.* Caracterização física da bacia hidrográfica do Córrego da Lontra–Cafelândia, SP. **A gestão de recursos hídricos e seus**

impactos, v. 01, n. 1, p. 69-88, 2021. Disponível em: <[6da3NPY12Jt33U8e5L8Qm4s94DGHx7nk.pdf \(reflexaoacademica.com.br\)](https://reflexaoacademica.com.br/6da3NPY12Jt33U8e5L8Qm4s94DGHx7nk.pdf)>. Acesso em: 20 nov. 2023.

SAUSEN, T. M. **Desastres naturais e geotecnologias - sensoriamento remoto - caderno didático nº 2**. Santa Maria, RS, 2008. Disponível em: <<http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP8W/35DSTA8>>. Acesso em: 13 dez. 2022.

SILVA, Q. D. **Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão**. Universidade Estadual de São Paulo, Presidente Prudente, SP, 2012.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O Conceito de Bacia Hidrográfica e a Importância da Caracterização Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental Local. **Revista Brasileira Multidisciplinar - ReBraM**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 137-156, 2007. DOI: 10.25061/2527-2675/ReBraM/2007.v11i1.236. Disponível em: <<https://revistarebram.com/index.php/revistauniara/article/view/236>>. Acesso em: 15 out. 2022.

TERCINI, O. T.; LIMA, C. G. R.; LOLLO, J. A. Analysis of environmental fragility on the city of Monte Alto-SP and proposals for environmental zoning. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 17, n. 5, 2021.

TUCCI, C. E. M. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 2, p. 5-12, 1997.

TUCCI, C.E.M.; SILVEIRA, A. **Gerenciamento da drenagem urbana**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2001.

WILFORD, D. J.; SAKALS, M.E.; INNES, J.L.; SIDLE, R.C.; BERGERUD, W. A. **Recognition of debris flow, debris flood and flood hazard through watershed morphometrics. Landslides**, v. 1, p.61-66, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10346-003-0002-0>>. Acesso em: 13 dez. 2022.